

**CONSERVATION DE VIANDE DE VEAU DE LONGUE
DURÉE SOUS ATMOSPHERE MODIFIÉE**

Par

Benoit Deslandes

Mémoire présenté au Département de biologie en
vue de l'obtention du grade de maître ès sciences
(M.Sc.)

**FACULTÉ DES SCIENCES
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE**

Sherbrooke, Québec, Canada, avril 1999

Le 28 Oct 89, le jury suivant a accepté ce mémoire dans sa version finale.
date

Président-rapporteur: M. Brian Talbot
Département de biologie

Membre: M. Ryszard Brzezinski
Département de biologie

Membre: M. Claude Déry
Département de biologie

Membre: M. Alain Houde
CRDA

SOMMAIRE

Les objectifs de la présente étude étaient d'évaluer la qualité microbiologique de la viande de veau lors de la conservation de longue durée sous-vide et sous CO₂ afin de s'assurer qu'aucune altération de la viande ne survienne durant la conservation ou la vie de tablette. Des analyses physico-chimiques ont également été faites afin de suivre l'évolution de ces différents paramètres pouvant affecter d'une façon directe ou indirecte les qualités organoleptiques de la viande durant la conservation ou la vie de tablette. Enfin, des analyses de composition de la viande ont été effectuées afin de mettre en évidence les différences physico-chimiques entre le veau de lait et le veau de grain.

Les pièces de viande utilisées lors de cette étude étaient des longes désossées de veau de lait et de veau de grain. Elles ont été emballées 48 heures *post-mortem* à une température de 2°C, sous-vide et sous CO₂ (100%). Elles ont par la suite été conservées durant 35, 40 et 45 jours à une température de 1°C. La durée de vie de tablette a été évaluée sur cinq jours à 4°C. Les analyses microbiologiques ont été effectuées par des comptes bactériens selon les méthodes standard. Six familles bactériennes ont été évaluées : les bactéries aérobies, les bactéries anaérobies, les bactéries lactiques, les *Brochothrix thermosphacta*, les entérobactéries et les *Pseudomonas*. La composition en eau, en gras et en protéines des deux types de viande ont été mesurées avec la méthode # 22.013 de l'A.O.A.C., la méthode d'extraction Soxtec et la méthode de Kjeldahl, respectivement. Les paramètres physico-chimiques évalués étaient : le pH, mesuré à l'aide d'une électrode à pénétration et d'une sonde à température ; les pertes exsudatives et les pertes à la cuisson mesurées par le % de poids perdu ; les taux de fer total, non-hémique et hémique dosés par spectrophotométrie par absorption atomique, par coloration à la bathophénanthroline et par différence entre le fer total et le fer non-hémique, respectivement ; la rancidité évaluée par une coloration au TBA avec la méthode de filtration ; les paramètres de couleur L*, a* et b* mesurés avec un spectrophotomètre

HunterLab ; les forces de cisaillements mesurées selon la méthode de Warner-Bratzler et finalement la texture évaluée à l'aide de photographies.

L'évolution des différentes familles bactériennes analysées lors de la présente étude se comparent avec les résultats de plusieurs études rapportées pour d'autres types de viande conservées sous-vide et sous CO₂ durant de longues périodes. La croissance des bactéries aérobies et anaérobies a été ralentie par l'effet du gaz durant la conservation et ces bactéries se sont maintenues à des niveaux acceptables selon les normes établies en littérature. La croissance des *Brochothrix thermosphacta*, des entérobactéries et des *Pseudomonas* a été inhibé par le CO₂. Leur nombre a diminué durant la conservation et s'est maintenu à un niveau acceptable durant la vie de tablette. Les bactéries lactiques ont été la flore dominante durant la conservation sous CO₂ et elles ont atteint un nombre de 10⁷/g après 35 jours de conservation. Cette valeur correspond à la limite acceptable proposée par plusieurs auteurs. Bien qu'elles soient reconnues pour leur faible potentiel d'altération, certaines souches de bactéries lactiques peuvent produire des substances indésirables pouvant affecter sérieusement l'apparence de la viande, notamment la couleur. Les analyses de composition démontrent que le veau de grain contient plus de protéines alors que le veau de lait contient plus d'eau et plus de gras. Le pH de la viande emballée sous CO₂ a légèrement diminué durant la conservation, mais l'amplitude de cette baisse était assez faible et probablement sans conséquence, contrairement à celle emballée sous-vide. Par contre, la baisse de pH observée durant la vie de tablette aurait pu influencer d'autres paramètres physico-chimiques. L'analyse statistique n'a révélé aucune différence de pH entre les deux types de veau. Les pertes exsudatives de la viande conservée sous CO₂ correspondent au processus normal de maturation de la viande alors que celles de la viande emballée sous-vide sont plus élevées, particulièrement pour le veau de lait comparativement au veau de grain. Cependant, les pertes à la cuisson n'ont pas été différentes entre les deux types de veau et elles ont été constantes durant la conservation.

Les quantités de fer non-hémique, sensiblement les mêmes pour les deux types de veau, étaient assez stables durant la conservation, ce qui indique que la quantité de fer total plus élevée pour le veau de grain est imputable à sa teneur en myoglobine plus élevée. La diminution du fer total est imputable surtout à la perte de pigment. Cette relation est aussi valable pour l'explication des phénomènes d'oxydation plus élevés chez le veau de grain. Les résultats suggèrent que le phénomène d'oxydation principal ne soit pas l'oxydation des gras mais bien l'oxydation des pigments. Toutefois, les valeurs quantifiant l'oxydation (valeurs TBA) de la viande conservée sous CO₂ lors de la présente étude semblent acceptables. La décoloration observée pour les deux types de viande après 35 jours ou plus de conservation sous CO₂ est imputable à l'oxydation de la myoglobine, qui s'est traduit par une baisse du paramètre de couleur a*. La faible amplitude des variations des paramètres L* et b* a probablement eu peu d'effet sur la couleur. Cette dernière était acceptable à l'ouverture des sachets ainsi qu'après une journée de conservation de tablette, mais devenait inacceptable par la suite, allant parfois jusqu'à un verdissement et ce, de façon plus évidente pour la viande de veau de grain. La viande conservée sous-vide était inacceptable dès l'ouverture des sachets. La conservation sous CO₂ n'a eu aucun effet d'attendrissement ou de durcissement de la viande et les valeurs de la présente étude démontrent une tendreté supérieure pour la viande de veau de lait.

Selon les conditions d'abattage et de refroidissement en vigueur lors de la réalisation de ce projet, une durée de conservation de 35 jours représenterait la limite théorique maximale pour de la viande de veau maintenue sous CO₂ à 1°C. D'un point de vue pratique, la croissance résultante des bactéries lactiques aux environs des valeurs recommandées (10⁷/g) et la décoloration rapide dès la seconde journée de vie de tablette pourraient sans doute être améliorées par l'adoption de technologies de refroidissement plus performantes lors de l'entreposage. Les investissements requis pour l'acquisition d'une technologie tel le système CAPTECH® ne sauraient toutefois enrayer la fissuration de la viande engendrée par le CO₂. Sur cette base, l'amélioration des caractéristiques microbiologiques et physico-chimiques des viandes par des interventions technologiques plus en amont dans la chaîne de transformation

seront probablement les plus susceptibles d'assurer, de façon indépendante ou par synergie, la prolongation de la durée de conservation de la viande de veau.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été rendu possible grâce à une contribution financière du programme d'appui aux filières dans le cadre de l'entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agro-alimentaire ainsi que de la contribution financière de la fédération des producteurs de bovins du Québec et des entreprises Ecolait inc., Abattoir A.L. Bellerive inc., et Agriculture et Agro-alimentaire Canada dans le cadre du programme du partage des frais à l'investissement en recherche et développement.

Je désire remercier spécialement messieurs Alain Houde et Claude Gariépy (co-directeurs au CRDA) pour m'avoir donné la chance d'entreprendre ce projet et avoir su m'apporter support, encouragements et connaissances. Merci aussi à Ryszard Brzezinski (co-directeur à l'Université de Sherbrooke), Claude Déry et Brian Talbot (conseillers) pour leur disponibilité et leurs conseils, à Véronique Blais pour son support technique et à tous les employés du CRDA qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de ce projet.

Enfin, je ne pourrais passer sous silence l'intérêt et les encouragements que m'ont témoigné ma famille, ma conjointe et mes amis, qui ont su être là au moment où j'en avais besoin. Merci à tous.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	ii
REMERCIEMENTS	vi
TABLE DES MATIÈRES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xi
INTRODUCTION.....	1
 CHAPITRE 1 – MATÉRIELS ET MÉTHODES	 27
1.1 Matière première.....	27
1.2 Emballage et conservation.....	27
1.3 Analyses microbiologiques.....	28
1.4 Analyses physico-chimiques.....	29
1.4.1 Mesure de la composition en eau.....	29
1.4.2 Mesure de la composition en gras.....	29
1.4.3 Mesure de la composition en protéines.....	30
1.4.4 Mesure du pH.....	30
1.4.5 Mesure de pertes par exsudation.....	30
1.4.6 Mesure de pertes à la cuisson.....	31
1.4.7 Mesure du fer total	31
1.4.8 Mesure du fer non-hémique	31
1.4.9 Mesure de la rancidité.....	32
1.4.10 Mesure de la couleur.....	33
1.4.11 Calcul de la teinte et de la saturation	33
1.4.12 Mesure de la tendreté.....	33

1.4.13	Evaluation de la texture	34
1.5	Dispositif expérimental.....	34
1.6	Analyses statistiques	35
CHAPITRE 2 – RÉSULTATS		38
2.1	Microbiologie	38
2.1.1	Bactéries aérobies	38
2.1.2	Brochothrix thermosphacta.....	38
2.1.3	Bactéries lactiques	42
2.1.4	Bactéries anaérobies.....	42
2.1.5	Entérobactéries.....	43
2.1.6	Pseudomonas	44
2.2	Physico-chimie	45
2.2.1	Composition.....	45
2.2.2	pH.....	45
2.2.3	Pertes exsudatives	46
2.2.4	Pertes à la cuisson	49
2.2.5	Fer total	49
2.2.6	Fer non-hémique	49
2.2.7	Rancidité	54
2.2.8	Couleur.....	56
2.2.8.1	Paramètre L*	56
2.2.8.2	Paramètre a*	56
2.2.8.3	Paramètre b*	60
2.2.8.4	Teinte	62
2.2.8.5	Saturation	62
2.2.9	Tendreté	62
2.2.10	Texture	65

CHAPITRE 3 – DISCUSSION.....	72
3.1 Microbiologie	72
3.2 Physico-chimie	77
3.2.1 pH, pertes exsudatives et pertes à la cuisson	77
3.2.2 Fer, oxydation et couleur	80
3.2.3 Tendreté	88
CONCLUSIONS.....	89
BIBLIOGRAPHIE	92

LISTE DES TABLEAUX

1.	Schéma expérimental d'une répétition.....	35
2.	Effet de l'interaction entre le type de veau et le type d'emballage sur la population de <i>Brochothrix thermosphacta</i> , tout autre traitement confondu	42
3.	Effet de l'interaction entre le type de veau et le type d'emballage sur la population des entérobactéries, tout autre traitement confondu	43
4.	Effet de l'interaction entre le type de veau et le type d'emballage sur la population de <i>Pseudomonas</i> , tout autre traitement confondu.....	44
5.	Comparaison de la composition en eau, en gras et en protéines du veau de grain et du veau de lait.....	45
6.	Effet de l'interaction entre le type de veau et le type d'emballage sur le pH, tout autre traitement confondu.....	46
7.	Teneur en fer non-hémique pour le type d'emballage, tout autre traitement confondu.....	54
8.	Effet de l'interaction entre le type de veau et le type d'emballage sur le paramètre de couleur b*, tout autre traitement confondu.....	60
9.	Valeurs des forces de cisaillement pour le type de veau, le type d'emballage et le temps de conservation, tout autre traitement confondu...	65

LISTE DES FIGURES

1.	Dispositif expérimental d'une répétition	37
2.	Comparaison des populations bactériennes [a) bactéries aérobies ; b) <i>Brochothrix thermosphacta</i> ; c) bactéries lactiques ; d) bactéries anaérobies ; e) entérobactéries et f) <i>Pseudomonas</i>] du veau de grain et du veau de lait pour les temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours, tout autre traitement confondu. Le trait (----) représente la norme acceptable et les barres d'erreur représentent l'écart type	39
3.	Comparaison entre les effets de l'emballage sous CO ₂ et l'emballage sous- vide sur : a) les bactéries aérobies ; b) les <i>Brochothrix thermosphacta</i> ; c) les bactéries lactiques ; d) les bactéries anaérobies ; e) les entérobactéries et f) les <i>Pseudomonas</i> , pour les temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours. Tout autre traitement confondu. Le trait (----) représente la norme acceptable et les barres d'erreur représentent l'écart type	40
4.	Comparaison des populations bactériennes [a) bactéries aérobies ; b) <i>Brochothrix thermosphacta</i> ; c) bactéries lactiques ; d) bactéries anaérobies ; e) entérobactéries et f) <i>Pseudomonas</i>] des temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours aux jours tablette 0, 1, 2, 3, 4 et 5, tout autre traitement confondu Le trait (----) représente la norme acceptable et les barres d'erreur représentent l'écart type	41
5.	Effet de l'interaction entre le type d'emballage et le temps de conservation du veau sur le pH, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.....	47

6.	Comparaison de l'évolution du pH pour les temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours durant la vie de tablette (0, 1, 2, 3, 4 et 5 jours), tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type	48
7.	Comparaison de l'évolution des pertes exsudatives pour le veau de grain et le veau de lait emballés sous-vide et sous CO ₂ aux temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.....	50
8.	Comparaison de l'évolution des pertes exsudatives durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours) aux jours tablette 0, 1, 2, 3, 4 et 5, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type	51
9.	Effet de l'interaction entre le type d'emballage et le temps de conservation sur les pertes à la cuisson, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.....	52
10.	Evolution de la quantité de fer total, non-hémique et hémique pour le veau de grain et le veau de lait durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours), tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type ..	53
11.	Evolution des valeurs TBA durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours) pour les deux types de veau emballés sous-vide et sous CO ₂ . Les barres d'erreur représentent l'écart type.....	55
12.	Evolution de la couleur (paramètre L*) : a) du veau de grain et b) du veau de lait durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours) aux jours tablette 0, 1, 2, 3, 4 et 5, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type	57

13. Evolution de la couleur (paramètre a^*) pour le veau de grain et le veau de lait emballés sous-vide et sous CO_2 aux temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type	58
14. Evolution de la couleur (paramètre a^*) : a) du veau de grain et b) du veau de lait durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours) aux jours tablette 0, 1, 2, 3, 4 et 5, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type	59
15. Evolution de la couleur (paramètre b^*) : a) du veau de grain et b) du veau de lait durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours) aux jours tablette 0, 1, 2, 3, 4 et 5, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type	61
16. Evolution de la teinte a) pour le type d'emballage durant la conservation b) durant la vie de tablette avant et après conservation (35, 40 et 45 jours) et c) durant la vie de tablette pour chaque type de veau, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type	63
17. Evolution de la saturation pour a) le veau de grain et b) le veau de lait durant la vie de tablette après des périodes de conservation de 35, 40 et 45 jours, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type	64
18. Evolution de la couleur de la viande de veau de lait conservée sous-vide (SV) et sous CO_2 (CO) durant : a) témoin, b) 35 jours, c) 40 jours et d) 45 jours.....	67

19.	Evolution de la couleur de la viande de veau de grain conservée sous-vide (SV) et sous CO ₂ (CO) durant : a) témoin, b) 35 jours, c) 40 jours et d) 45 jours.....	68
20.	Effet de l'absorption du gaz dans la viande de veau de lait conservée sous CO ₂ (CO) comparativement à celle conservée sous-vide (SV) durant : a) témoin, b) 35 jours, c) 40 jours et d) 45 jours.....	69
21.	Effet de l'absorption du gaz dans la viande de veau de grain conservée sous CO ₂ (CO) comparativement à celle conservée sous-vide (SV) durant : a) témoin, b) 35 jours, c) 40 jours et d) 45 jours.....	70
22.	Exemple de la taille que peuvent atteindre les crevasses de la viande conservée 35 jours ou plus sous CO ₂	71

INTRODUCTION

La viande de veau est reconnue pour être une viande : tendre, délicate, raffinée, facile à digérer, de belle apparence, de teinte pâle et plus “légère” que le porc ou le bœuf. Son goût, sa valeur nutritive très élevée et sa faible teneur en gras en font une viande très appréciée des consommateurs (Demers et al., 1996). En 1996, le marché québécois du veau s’élevait à environ 20 500 tonnes de viande par année (Demers et al., 1996). Ce volume comprend 8 700 tonnes de veau de grain et 11 800 tonnes de veau de lait (Demers et al., 1996). En 1995, le Québec a exporté 1482 carcasses, pour une valeur de 5 900 000 \$ et a importé des pièces de viande de veau pour une valeur de 759 000 \$ (Demers et al., 1996). Au Québec, la viande de veau occupe environ 3% des ventes dans le comptoir des viandes et la consommation annuelle moyenne pour un québécois est de 1,5 kg (Demers et al., 1996).

Le marché québécois du veau se distingue par la production de deux catégories de veau : le veau de lait et le veau de grain, qui est typiquement québécois. Les producteurs de veau de lait utilisent presque exclusivement des veaux mâles de race Holstein qui sont abattus à l’âge de 16 à 18 semaines à un poids moyen de 135 kg. Leur alimentation est constituée uniquement d’aliments d’allaitement durant les 16 à 18 semaines de production (Ledoux et al., 1998). Les producteurs de veau de grain utilisent aussi majoritairement des veaux mâles de race Holstein abattus à l’âge de 22 à 24 semaines à un poids moyen de 163 kg. Ils sont nourris avec des aliments d’allaitement pour les 6 à 8 premières semaines, puis avec un mélange de maïs-grain entier et des suppléments protéiques pour le reste de leur croissance (Ledoux et al., 1998). Le veau de grain présente une couleur rosée et plus foncée que celle du veau de lait. Cette différence de couleur est provoquée par l’alimentation du veau de grain qui est plus riche en fer. En effet, cette diète favorise la production de myoglobine, principal pigment impliqué dans la coloration de la viande (Zhao et al., 1994).

Les consommateurs demandent de plus en plus des produits à l'état frais, et les produits surgelés sont progressivement délaissés par ceux-ci. La congélation n'est donc plus un moyen adéquat pour atteindre des marchés plus éloignés, qui représentent une belle opportunité pour la croissance de l'industrie québécoise du veau. Les technologies de conservation de longue durée actuellement utilisées par l'industrie sont le conditionnement sous-vide et sous atmosphère modifiée. Elles visent à limiter au maximum la présence d'oxygène qui favorise le développement de la population bactérienne aérobie à l'origine de la putréfaction superficielle. Ces dernières peuvent également être responsables de certains phénomènes d'altération de la couleur par oxydation des lipides et des pigments (Lacoste et Chatenet, 1996a).

L'emballage sous-vide résulte de l'utilisation d'une pompe et d'un film imperméable aux gaz permettant d'évacuer le maximum d'air présent dans l'emballage. La durée de vie maximale atteinte par le conditionnement sous-vide est obtenue avec une température de conservation en usine de -1°C et une température subséquente de stockage à la limite du point de congélation (-1,5°C) (Gill et Jones, 1992). Cette méthode de conservation prolonge la phase de latence du développement microbien et maximise l'effet de l'anoxie du sous-vide (Gill et Jones, 1992). Gill (1986) a démontré que de la viande d'agneau, qui présente habituellement une faible qualité hygiénique, pouvait se conserver sous-vide pour une période de 18 à 24 semaines. Cependant, ce procédé ne semble pas entièrement satisfaisant pour les pièces avec os qui risquent de percer l'emballage et être à l'origine de fuites. De plus, il ne permet pas de réduire ou de stabiliser le niveau de contamination initiale de la viande, il ralentit seulement le développement des germes présents (Lacoste et Chatenet, 1996b). À l'échelle industrielle, l'emballage sous-vide demeure une méthode d'emballage simple et couramment utilisée.

L'emballage sous atmosphère modifiée était déjà utilisé en 1930 pour l'exportation de bœuf frais (sous CO₂), de l'Australie et de la Nouvelle Zélande vers l'Angleterre (Empey et al., 1934). Mais la première application commerciale majeure fût mise de l'avant par la compagnie française SCOPA en 1974 (Church, 1994). Tel que rapporté par Church (1994), l'emballage

sous atmosphère modifiée est actuellement utilisé pour la conservation de viande crue et cuite, le poulet, le poisson, les crustacés, les légumes, les fruits, les pâtes fraîches, les produits frits, les croustilles, le café et le thé. Le principe de la technologie est de remplacer l'air initial par un mélange de gaz. Une fois le vide réalisé autour du produit, on introduit une atmosphère de composition choisie puis l'on referme hermétiquement l'emballage. De multiples mélanges gazeux constitués d'azote, de dioxyde de carbone ou d'oxygène sont possibles (Taylor, 1972). Par exemple, le CO₂ 100 % (Gill et Penney, 1988 ; Erichsen et Molin, 1981 ; Gill et Reichel, 1989), un mélange 10% CO₂/5% O₂/85% N₂ (Ahmad et Marchello, 1989) ou encore un mélange 20% CO₂/80% O₂ (Ordenez et Ledward, 1977). Avec un matériel de qualité adéquate (vide performant et film imperméable aux gaz et à la vapeur d'eau), le taux d'oxygène est ramené à une valeur d'environ 1 %. Ce n'est qu'avec un vide très poussé ou avec l'aide d'absorbants d'oxygène (oxygen scavengers) que ce dernier atteint une valeur près de 0 % (quelques ppm). Contrairement à l'emballage sous-vide, le produit sous atmosphère modifiée n'est sujet à aucune déformation physique et sa surface demeure sèche (Loewenadler, 1994). Certains auteurs soutiennent cependant que le CO₂ décolore la viande (Clark et Lentz, 1969). Cette différence serait toutefois moins marquée pour les viandes plus pâles (Ordenez et Ledward, 1977). Les différentes technologies de mise sous atmosphère sont les suivantes :

- Les barquettes classiques enrobées d'un film étirable et perméable sont placées dans un suremballage contenant l'atmosphère modifiée. Ce suremballage permet une préparation des morceaux longtemps à l'avance et offre une grande souplesse dans la gestion des stocks. Il suffit, en effet, de supprimer l'enveloppe externe contenant les produits et de les mettre en rayon. Cette technique tout à fait opérationnelle en pratique permet de séparer dans le temps, les étapes de préparation du produit et de garder finalement une présentation traditionnelle en barquette pour le consommateur.
- Les barquettes sont directement conditionnées sous atmosphère modifiée. Dans le cas des barquettes operculées, le produit y est placé puis elle est mise sous-vide et réinjectée de gaz (cas du procédé Ross). Pour les barquettes moulées, le produit est

placé dans la barquette qui est totalement enveloppée dans un film après un balayage gazeux sans vide préalable (cas du système BDF de Cryovac).

- Les pièces de découpe sont conservées en sac sous atmosphère modifiée (par réinjection de gaz après mise sous-vide), et la viande est par la suite mise en barquette sous un film étirable et perméable.

Actuellement, la conservation de la viande de veau en emballage traditionnel réfrigéré est d'environ 7 à 9 jours. La technologie de conservation sous atmosphère modifiée est présentement utilisée pour d'autres types de viande ; le porc, le bœuf, l'agneau... (Zhao et al., 1994), et les temps de conservation obtenus avec du CO₂ 100% peuvent aller jusqu'à 24 semaines à l'état frais (Gill, 1990). La littérature contient très peu d'informations sur la conservation de la viande de veau sous atmosphère modifiée. Hess et al. (1980) ont évalué la qualité microbiologique de la viande de veau conservée sous CO₂ durant 56 jours à 1°C et l'ont jugé acceptable. Ils ont noté que la perméabilité de l'emballage à l'oxygène et la charge bactérienne initiale sont deux facteurs qui influencent fortement la durée de vie de la viande. Partmann (1980) a rapporté que la couleur, les qualités bactériologiques, chimiques et organoleptiques des côtelettes de veau conservées sous CO₂ à 1°C étaient encore satisfaisantes après 6 semaines. Plus récemment, Gariépy et al. (1998) ont étudié les effets d'une diète enrichie d'EDTA sur les caractéristiques physico-chimiques de la viande de veau conservée sous CO₂ à 4°C. Les résultats de leurs analyses ont démontré une qualité physico-chimique et organoleptique satisfaisante de la viande après 4 semaines de conservation. De plus, la diète a eu un impact plus important sur la qualité de la viande que l'atmosphère utilisée lors de la conservation. Cependant, la durée de vie de tablette de la viande de veau conservée sous CO₂ n'a pas été évaluée lors de ces études.

Température

L'efficacité des technologies d'emballage sous-vide et sous atmosphère modifiée est inversement proportionnelle à la température de conservation (Clark et Lentz, 1969 ; McMullen

et Stiles, 1989). Le temps maximum de conservation sous-vide de la viande de bœuf est obtenu lorsque la viande est conservée à $-1,5^{\circ}\text{C}$ (Gill et Jones, 1992). Gill et Harrison (1989) ont observé que la réduction de la température de conservation de 3°C à $-1,5^{\circ}\text{C}$ permet de doubler la durée de conservation. De plus, Gill (1992) a noté qu'à des températures de conservation supérieures à $-1,5^{\circ}\text{C}$, une légère hausse de température engendre une forte réduction de la durée de vie. Selon l'auteur, une température de 0°C ne permettrait d'atteindre que 70% de la durée de vie permise par une température de conservation de $-1,5^{\circ}\text{C}$; alors qu'à 2°C , celle-ci serait réduite de moitié. McMullen et Stiles (1991) ont noté que sous une atmosphère constituée de 40 % CO_2 /60 % N_2 (v/v), des températures de -1°C , de $4,4^{\circ}\text{C}$ et de 10°C permettent une durée de conservation de 8, de 5 et de 2 semaines, respectivement. Des résultats similaires ont été obtenus par Clark et Lentz (1969), Carpenter et al. (1976) et Grau (1983). La réduction de la durée de vie est en partie due à l'instabilité de la myoglobine causée par l'oxydation à des températures plus élevées, mais l'effet le plus important demeure l'augmentation du taux de croissance des micro-organismes à ces températures (Daniels et al., 1985 ; McMullen et Stiles, 1991).

Plusieurs raisons font de la température un point critique : 1° une basse température favorise la solubilisation du CO_2 dans l'eau et le gras de la viande (Mitz, 1979) ; 2° elle défavorise également la croissance bactérienne et pourrait contrôler la croissance des micro-organismes anaérobies ou anaérobies facultatifs (Newton et Gill, 1978) ; 3° une basse température est nécessaire pour prévenir la croissance de *Clostridium botulinum* et d'autres pathogènes anaérobies (Dixon et al., 1988) ; 4° le froid maintient l'uniformité de la couleur en retardant l'oxydation des pigments (Stringer et al., 1969).

Oxygène

La couleur rouge à la surface de la viande est le principal critère de qualité des consommateurs (Hood et Riordan, 1973). L'utilisation de l'oxygène dans un mélange gazeux permet de préserver l'attrait de couleur rouge vif en permettant à la myoglobine de demeurer à l'état

oxygéné (oxymyoglobine) (Taylor, 1972 ; Bartkowski et al., 1982 ; Sebranek, 1986 ; Young, 1989). De plus, l'oxygène inhibe la croissance des micro-organismes pathogènes anaérobies (Hintlian et Hotchkiss, 1987). La quantité utilisée dans un mélange gazeux est déterminée de façon à minimiser la croissance bactérienne tout en permettant le maintien de la couleur (Church et Parsons, 1995). Cependant, l'oxygène résiduel persistant est progressivement consommé en premier lieu (~ 6 premiers jours) par la respiration des cellules de la viande et ensuite par celle des bactéries aérobies, favorisant ainsi leur croissance (Daun et al., 1971). De plus, la viande capte l'oxygène par absorption dans le fluide tissulaire, par une réaction avec les protéines hémi- et par la consommation des mitochondries (Sebranek, 1986). Ces consommations d'oxygène ont pour conséquences une production de CO₂ et une augmentation des réactions d'oxydation (Zhao et al., 1994).

Azote

L'azote, un gaz inerte sans goût et très peu absorbé dans la viande (Inns, 1987), est souvent utilisé comme agent de remplissage pour réduire la concentration d'autres gaz plus actifs (Seideman et Durland, 1984 ; Sebranek, 1986 ; Farber, 1991), pour retarder la rancidité oxydative (Church, 1994), pour éviter l'utilisation de la mise sous-vide qui pourrait endommager un produit trop fragile ou encore pour éviter un affaissement de l'emballage provoqué par une trop forte absorption de CO₂ dans la viande (Church, 1994). Ce gaz ne possède aucun pouvoir bactériostatique (Gill, 1988).

Dioxyde de carbone

Le CO₂ est un gaz unique à cause de sa distribution égale dans l'air et dans l'eau à des températures normales (Edsall et Wyman, 1958). Dans l'eau, il est 25 à 35 fois plus soluble que l'oxygène et 50 à 60 fois plus que l'azote alors que dans le gras, il est 10 fois plus soluble que l'oxygène et 17 fois plus que l'azote (Mitz, 1979). Ces caractéristiques font qu'il est fortement absorbé par la viande. L'absorption du CO₂ dépend de la taille et de la forme de la pièce de

viande, de la composition de la surface exposée, des conditions de pressions de gaz et de concentration de CO₂ de cette surface, et du ratio volume de l'espace de tête/volume de viande (Gill, 1988 ; Taylor et MacDougall, 1973). La température d'entreposage et la concentration initiale de CO₂ affectent aussi directement l'absorption du CO₂ (Spahl et al., 1981 ; Seideman et al., 1979b ; Enfors et Molin, 1984 ; Jackson et al., 1992). De plus, la composition de la viande (eau et gras), le pH et d'autres facteurs biologiques peuvent affecter l'absorption du CO₂ par la viande (Gill, 1988).

La forte solubilité du CO₂ dans l'eau et le gras est une des raisons de son effet bactériostatique (Loewonadler, 1994). Il semble que la viande absorbe le gaz pendant la période de stockage. Ce gaz poursuit son effet lorsque la viande est sortie de l'emballage, vraisemblablement en agissant sur le temps de latence avant la multiplication bactérienne (Lacoste et Chatenet, 1996b). Les bactéries, stressées par la présence du gaz, mettent un certain temps de latence pour s'adapter à leur nouvel environnement. Le CO₂ conjugue donc deux effets : une stabilité de la contamination tant que la viande est dans l'emballage, et un effet retard sur l'évolution bactériologique de la viande en barquette (Lacoste et Chatenet, 1996b). Une atmosphère riche en CO₂ inhibe la croissance de certaines bactéries, en particulier les bactéries à Gram-négatif (Gardner et al., 1967 ; Sander et Soo, 1978 ; Gill et Tan, 1980 ; Dixon et Kell, 1989 ; Wimpfheimer et al., 1990 ; Marshall et al., 1991 ; Farber, 1991). Le dioxyde de carbone est beaucoup plus soluble à de basses températures et le degré d'inhibition de la croissance bactérienne s'en trouve accru (Wolfe, 1980). Il est cependant clair que l'effet inhibiteur du CO₂ est réduit à des températures supérieures à 4°C et nul à 20°C (Blickstad et Molin, 1983 ; Daniels et al., 1985 ; Seideman et Durland, 1984). Un effet direct du CO₂ dissout non hydraté sur le métabolisme et l'activité bactérienne est plus probable qu'un effet indirect par un changement de pH (Mitz, 1979). D'ailleurs, beaucoup d'auteurs s'accordent pour dire qu'il n'y a pas d'effet acidifiant lors de l'emballage sous CO₂ (Holley et al., 1994a ; Bruce et al., 1992 ; Anjaneyulu et Smith, 1986 ; Blickstad et al., 1981), bien qu'une acidification de surface ait été rapportée par Ledward (1970).

Plusieurs équipes ont étudié les effets du CO₂ sur la croissance et le métabolisme microbien. Les principaux sites d'action du CO₂ semblent être les membranes biologiques (Dixon et Kell, 1989 ; Sears et Eisenberg, 1961 ; Enfors et Molin, 1978 ; Jones et Greenfield, 1982 ; Franks et Lieb, 1986 ; Mitz, 1979) et le cytoplasme (King et Nagel, 1975 ; Dixon et al., 1988 ; Jones et Greenfield, 1982 ; Tan et Gill, 1982 ; Rowe, 1988). Le CO₂ peut inhiber la division cellulaire, altérer la morphologie des cellules, l'absorption d'acides aminés et le taux d'absorption du glucose (Loewonadler, 1994). Il peut aussi engendrer un cycle inutile causant une perte d'énergie cellulaire; sa solubilité et le gradient de concentration lui permettent de traverser la membrane cellulaire librement alors que la cellule doit utiliser un transport actif pour sortir le CO₂ en excès (Dixon et al., 1988). Dixon et Kell (1989) ont conclu qu'il est peu probable qu'un seul mécanisme soit responsable du caractère inhibiteur du CO₂.

Composition gazeuse de l'espace de tête

La composition gazeuse de l'espace de tête de l'emballage de viande sous atmosphère modifiée change durant la conservation car le système comporte plusieurs propriétés dynamiques qui peuvent agir simultanément (Sebranek, 1986). Ces propriétés sont principalement le métabolisme microbien (Enfors et Molin, 1984), la respiration des cellules musculaires de la viande (Seideman et al., 1979b ; Enfors et Molin, 1984 ; Jackson et al., 1992), l'absorption du CO₂ par la viande (Gill, 1988 ; Taylor et MacDougall, 1973 ; Seideman et al., 1979b), la perméabilité du film de l'emballage (Lambert et al., 1991), et l'interaction de la température et du volume de l'espace de tête avec toutes ces propriétés (Daun et al., 1971).

Les propriétés de solubilisation du CO₂ ont pour effet de modifier sa concentration dans l'espace de tête, car la viande en absorbe jusqu'à saturation (variant selon le type de viande) ou jusqu'à un équilibre avec la concentration de l'espace de tête (Zhao et al., 1995). Le volume de l'espace de tête est donc diminué par rapport à son volume initial et la pression de gaz est elle aussi modifiée (Zhao et al., 1994). La concentration de CO₂ peut être saturée en utilisant un ratio de 2 litres ou plus de CO₂/kg de viande (Greer et al., 1993 ; Penney et Bell, 1993 ; Gill,

1992). Une diminution du volume de gaz peut aussi créer un affaissement de l'emballage si le volume initial de gaz n'était pas suffisant (Zhao et al., 1994). Cet affaissement peut devenir un facteur limitant dans l'utilisation de la technologie d'emballage sous atmosphère modifiée (Gill, 1988). Ce problème peut cependant être évité en utilisant un ratio espace de tête/volume de viande de $\sim 3,3$ (Zhao, 1995). Gill et Penney (1988) ont observé que l'effet maximum du CO_2 ne pouvait être atteint que si le volume du gaz injecté était supérieur au volume de saturation du gaz absorbé par la viande. Zhao et al. (1995) ont conclu que le facteur le plus important pour le changement du volume de tête est le ratio volume de l'espace de tête/volume de viande mais que l'aire et le volume de la pièce de viande sont eux aussi importants. Selon Gill (1988), l'augmentation du volume de dioxyde de carbone de 0,2 à 2 litres/kg permettrait une augmentation de la durée de conservation du bœuf de 7 à 15 semaines.

Durée de vie

Par ailleurs, une pression de 5 atmosphères de CO_2 (Blickstad et al., 1981) ou un ratio CO_2 /viande suffisant pour saturer l'espace de tête durant la réfrigération pourrait prolonger de 15 fois la durée de vie par rapport à la conservation à l'air (Gill et Penney, 1988 ; Gill, 1992). D'autres facteurs tels la nature du produit, l'environnement gazeux, la température de conservation, le matériel d'emballage et ses propriétés influencent la durée de vie d'un produit sous atmosphère modifiée (Hotchkiss, 1988). La charge microbienne de départ et sa phase de croissance (Nicki et al., 1993) influencent aussi la durée de vie d'un produit sous atmosphère modifiée ; une charge microbienne initiale diminuée de 100 fois prolonge la durée de vie de la viande de porc de 2 semaines à -1°C et $4,4^\circ\text{C}$ (McMullen et Stiles, 1991). L'environnement gazeux et la température de conservation sont particulièrement importants. Par exemple, le dioxyde de carbone 100 % à 1°C (Gill et Penney, 1988) et le sous-vide à la même température (Seideman et al., 1979a ; Gill et Penney, 1988) sont les méthodes les plus efficaces pour la viande de bœuf avec 100 et 50 jours de conservation, respectivement. A $4-5^\circ\text{C}$, le CO_2 100 % permet une durée de vie de 40 jours (Erichsen et Molin, 1981 ; Gill et Reichel, 1989). En y introduisant de l'oxygène, les atmosphères contenant du CO_2 à 4°C réduisent la durée de vie de

près de 10 jours (Erichsen et Molin, 1981 ; Ahmad et Marchello, 1989). L'air à 4°C (Erichsen et Molin, 1981 ; Ahmad et Marchello, 1989) et une atmosphère de 100 % d'oxygène à 1-3°C (Seideman et al., 1979a) limitent la durée de conservation à près de 7 jours. Il en est de même pour une combinaison de 50-60 % de CO₂ et de 40-50 % d'oxygène à 4°C (Ahmad et Marchello, 1989 ; Seideman et al., 1979a). Outre l'inhibition bactérienne mentionnée précédemment, la prolongation de la durée de vie par le CO₂ résulte en partie du fait que cet environnement favorise la croissance des bactéries lactiques (qui sont à l'origine de très peu de produits indésirables) par rapport aux entérobactéries et *Brochothrix* (McMullen et Stiles, 1991 ; Dixon et Kell, 1989 ; Gill, 1986). Toutefois, après la sortie de la viande des emballages sous CO₂, le taux de prolifération bactérienne augmente très vite. Cette prolifération est d'autant plus rapide que la durée de stockage sous atmosphère modifiée a été longue (jusqu'à 10⁶ germes en quatre jours, pour une durée de stockage de 10 semaines). Bon nombre d'auteurs ont montré une relation linéaire négative entre la durée de vie de tablette et la durée de stockage préalable sous atmosphère modifiée (Lacoste et Chatenet, 1996b).

CAPTECH

Le système CAPTECH (Chilled Atmosphere Packaging TECHnology) est utilisé commercialement depuis 1988 pour distribuer de la viande fraîche de la Nouvelle Zélande vers l'Europe (Warburton et Gill, 1989). L'emballeuse est munie d'une chambre pour l'évacuation de l'air et l'injection du gaz (CO₂ 100 %) et contrôle la pression différentielle de l'emballage durant les cycles de l'opération. De plus, l'appareil est muni de divers dispositifs de détection pour tout défaut d'emballage. Le volume de CO₂ est contrôlé par l'appareil. Ce contrôle est nécessaire pour l'optimisation des conditions de conservation, des pertes exsudatives et des coûts d'opération. Un film barrière fait d'aluminium et de nylon a été conçu pour le système. Ce matériau, très résistant et d'une grande qualité, est très fiable et joue un rôle prépondérant dans l'efficacité du système. La pompe génère un vide très performant, qui est la pierre angulaire du système.

Warburton et Gill (1989) ont remarqué que le système CAPTECH prolonge la durée de vie de la viande à l'état frais à un point tel que le temps de conservation nécessaire à la distribution vers les marchés éloignés ne constitue plus un facteur limitant. Dans une revue de Zhao et al. (1994), il est noté que le système est présentement appliqué avec succès pour le boeuf (20 semaines de conservation), le chevreuil (20 semaines), le porc (12-15 semaines), le poulet (10 semaines), le poisson (8 semaines) et l'agneau (16 semaines).

Microbiologie

Tel que mentionné précédemment, l'effet des technologies d'emballage sous-vide ou sous atmosphère modifiée sur le développement bactériologique peut être de deux types : par une inhibition de la croissance bactérienne ou par un ralentissement de cette croissance, augmentant ainsi la durée de la phase de latence (Lacoste et Chatenet, 1996a ; Daniels et al., 1985 ; Phebus et al., 1991). Les bactéries à Gram-négatif causant l'altération de la viande (*Pseudomonas*, entérobactéries, etc.) sont plus sensibles aux effets du CO₂ que les bactéries à Gram-positif, comme par exemple les bactéries lactiques et *Brochothrix thermosphacta* (Sutherland et al., 1977).

Pseudomonas

Les *Pseudomonas* sont révélateurs d'un excès d'humidité au cours de l'abattage, de la réfrigération ou de la découpe (Lacoste et Chatenet, 1996a) et peuvent provenir du tube digestif et de la peau des animaux et de l'homme (Anonyme, 1996). Ils sont responsables d'altérations importantes de la viande par protéolyse (Anonyme, 1996). Les substances produites par ces germes, comme la putrescine et la cadavérine, ont une odeur désagréable perceptible dès que la concentration bactérienne atteint 10⁸/cm² de surface de viande. Cette dernière devient alors poisseuse et présente une odeur de putréfaction (Lacoste et Chatenet, 1996a). Ces bactéries sont psychrotrophes et aérobies strictes. Elles sont donc inhibées lors de la conservation de la viande sous-vide ou sous atmosphère modifiée (Lacoste et Chatenet, 1996a).

Bactéries lactiques

Des études sur les bactéries lactiques de viande fraîche emballée sous-vide ont démontré une prévalence des bactéries lactiques homo- et hétérofermentaires, surtout du type *Lactobacillus* ou *Leuconostoc* (Hitchener et al., 1982 ; Shaw et Harding, 1984 ; Schillinger et Lücke, 1987). Nissen et al. (1996) ont remarqué que la flore lactique de la viande de bœuf conservée sous-vide ou sous atmosphère modifiée à des températures voisines de 0°C est principalement constituée de *Leuconostoc*. Certaines souches de *Lactobacillus* atypiques sont maintenant regroupées sous un nouveau genre, les *Carnobacterium* (Collins et al., 1987). Ces dernières sont fréquemment isolées à partir de viande conservée sous-vide. Elles sont hétérofermentaires et produisent généralement peu de CO₂ (Stiles, 1994). Les bactéries lactiques, qui proviennent du tube digestif et de la peau des hommes et des animaux (Anonyme, 1996), sont reconnues pour leur faible potentiel d'altération (Sheridan et al., 1997). Lorsqu'elles sont dominantes, une odeur caractéristique est décelable à l'ouverture du sachet mais disparaît après quelques minutes (Lacoste et Chatenet, 1996a). Certaines souches peuvent être nuisibles ; par exemple des souches hétérofermentaires productrices de gaz, de dextran (Stiles, 1994), d'éthanol, de H₂S (Borch et Agerhem, 1992 ; Dainty et Mackey, 1992 ; Egan et al., 1989) ou des souches qui surissent la viande (Anonyme, 1996). Les bactéries lactiques représentent la microflore prédominante de l'emballage sous atmosphère modifiée à cause de leur tolérance au CO₂, leur taux de croissance à basses températures (Newton et Gill, 1978) et leur production de diverses substances inhibitrices incluant des acides organiques, le peroxyde d'hydrogène, des substances antibiotiques (Stiles, 1994) et des bactériocines (McMullen et Stiles, 1993). Des études tendent à démontrer que la production de bactériocines pourrait jouer un rôle important au niveau de la prédominance des bactéries lactiques dans les emballages sous-vide et sous atmosphère modifiée (Klaenhammer, 1988 ; Hastings et Stiles, 1991). Schillinger et Lücke (1989) ont observé que 10 % des souches de *Lactobacillus* isolées à partir de la viande produisaient des bactériocines et que la plupart de ces souches appartenaient à l'espèce *Lactobacillus sake*. Cependant, des températures de stockage de 7-10°C ont un effet significatif sur la population

microbienne de la viande. Les bactéries lactiques ne prédominent plus (McMullen et Stiles, 1991), et les entérobactéries ainsi que les *Pseudomonas* font partie de la microflore prédominante de la viande conservée sous atmosphère modifiée à des températures plus élevées que 7°C (Gardner et al., 1967 ; Gill et Newton, 1980 ; Lee et al., 1985 ; Simard et al., 1985). La flore microbienne lactique inhibe les *Brochothrix thermosphacta*, les *Pseudomonas* et les populations bactériennes aérobies. Son développement peut être intéressant à cause des phénomènes de compétition qui ralentissent celui d'autres germes plus dommageables (Lacoste et Chatenet, 1996a). Lacoste et Chatenet, (1996b) ont remarqué une baisse de *Brochothrix thermosphacta* après 6 semaines de conservation et l'ont attribué à une compétition de la flore lactique plutôt qu'à l'effet du CO₂.

Brochothrix thermosphacta

Brochothrix thermosphacta, une bactérie psychrotrophe, peut être le principal agent de poissage de la viande s'il y a présence d'oxygène dans l'emballage (Blickstad et Molin, 1983 ; Gill et Harrison, 1989), car ses produits finaux de métabolisation, des acides gras volatils (Lacoste et Chatenet, 1996a), sont organoleptiquement très déplaisants (Gibbs et al., 1979). Ces acides gras sont souvent tenus responsables de la présence d'une odeur de lait (Lacoste et Chatenet, 1996a). Cette bactérie provient de la peau et du tube digestif des animaux (Anonyme, 1996). Elle présente un intérêt technologique car elle est une des rares bactéries qui n'est pas inhibée par le CO₂ des emballages sous atmosphère modifiée (Lacoste et Chatenet, 1996a).

Entérobactéries

Les entérobactéries altèrent la viande par protéolyse. Elles sont souvent responsables des altérations microbiennes observées durant les conditionnements sous-vide ou sous CO₂ (Legrand, 1994). Ces bactéries proviennent du tube digestif et de la peau des animaux et de l'homme (Anonyme, 1996). Le nombre d'entérobactéries présentes dans la viande fraîche abattue sous de bonnes conditions hygiéniques est normalement assez bas. Cependant, ce

nombre augmente durant la conservation sous réfrigération à cause de la prolifération des espèces psychrotrophes (Cox et al., 1975 ; Bohnsack et al., 1988 ; Zeitoun et Debevere, 1990). Par contre, si la conservation sous réfrigération est faite dans un emballage sous-vide ou sous atmosphère modifiée, le taux de croissance sera plus faible que celui à l'air libre (Beebe et al., 1976 ; Bohnsack et al., 1988 ; Gill et al., 1990). Les entérobactéries ont un intérêt technologique : elles sont à ce jour le meilleur indicateur du niveau d'hygiène d'une entreprise et de ses produits (Lacoste et Chatenet, 1996a).

Pathogènes

Les principaux micro-organismes pathogènes à surveiller sont *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* et *Campylobacter* (Hintlian et Hotchkiss, 1986 ; Silliker et Wolfe, 1980). Les problèmes causés par ces micro-organismes surviennent la plupart du temps dans des cas où la viande a été conservée à des températures abusives ($\sim 10^{\circ}\text{C}$) (Zhao et al., 1994). Le CO_2 a très peu d'effet sur ces micro-organismes, à l'exception de *Escherichia coli* (Hintlian et Hotchkiss, 1986 ; Silliker et Wolfe, 1980).

Normes de qualité microbiologique

Il a été rapporté que le phénomène de poissage ne survient que si les comptes totaux des bactéries aérobies atteignent 10^6 - 10^8 micro-organismes/g ou cm^2 (Gill, 1983). Les bactéries lactiques ne causent généralement aucune odeur désagréable si leur nombre n'excède pas $10^7/\text{cm}^2$ (Newton et Gill, 1978). Lacoste et Chatenet (1996b) ont énuméré les seuils suivants pour définir les normes acceptables de la qualité microbiologique de la viande de consommation : entérobactéries, $10^4/\text{cm}^2$; *Pseudomonas*, $10^6/\text{cm}^2$; *Brochothrix thermosphacta*, $10^6/\text{cm}^2$; bactéries lactiques, $10^7/\text{cm}^2$.

Modèles de flores microbienne d'altération de la viande

Il est extrêmement difficile d'obtenir une allure générale de la croissance bactérienne et des changements qu'elle provoque dans le développement du poissage sur du matériel biologique aussi complexe que la viande et les produits carnés (Sheridan et al., 1997). Il semble raisonnable de croire que les micro-organismes ayant un taux de croissance élevé ont des effets majeurs sur le développement des mauvaises odeurs et que les micro-organismes ayant un faible taux de croissance n'ont pas d'effet (Sheridan et al., 1997). On ne peut cependant pas assumer que la microflore dominante sera nécessairement responsable de l'évolution du développement du poissage dans tous les cas (Ingram et Dainty, 1971). Par exemple, Gill et Harrison (1989) ont observé une forte croissance des bactéries lactiques lors d'une étude sur la viande de porc emballée sous CO₂ 100% à -1,5°C. Or, ils ont attribué le développement du poissage à la croissance des entérobactéries, pourtant plus faible que celle des bactéries lactiques. L'analyse des données disponibles dans la littérature démontre plusieurs modèles de flore microbienne active dans le développement du poissage de la viande (Sheridan et al., 1997). Ces modèles sont séparés selon deux plages de températures (-1,5°C à 2°C et 3°C à 7°C) et deux technologies de conservation (sous-vide et sous atmosphère modifiée).

Deux modèles ont été observés chez l'agneau conservé sous-vide à 0°C ; une forte croissance des bactéries lactiques, des *Brochothrix thermosphacta* et des *Pseudomonas* (Patterson et Gibbs, 1978) ou une forte croissance des *Brochothrix thermosphacta* seulement (Shaw et al., 1980). A 5°C, Sheridan et al. (1997) ont observé comme modèle de fortes croissances des bactéries lactiques, des *Brochothrix thermosphacta*, des *Pseudomonas* et des entérobactéries. Pour le bœuf conservé sous-vide, trois modèles ont été identifiés. Le premier est une forte croissance des bactéries lactiques et une faible croissance des autres micro-organismes observées pour les deux plages de températures (-1,5°C à 2°C et 3°C à 7°C) (Pierson et al., 1970 ; Taylor et al., 1990). Les deuxième et troisième modèles ont été observés à des températures de 0°C-2°C. Le deuxième modèle est une forte croissance des bactéries lactiques, des *Brochothrix thermosphacta* ainsi que des *Pseudomonas* (Sutherland et al., 1975) et le

troisième, de Rousset et Renerre (1991), est une forte croissance des bactéries lactiques et des entérobactéries. Concernant le porc conservé sous-vide, trois modèles sont rapportés : 1° le développement du poissage à 3°C a été attribué à la forte croissance des bactéries lactiques et des *Brochothrix thermosphacta* (Gill et Harrison, 1989) ; 2° pour les températures entre -1,5°C et 1°C, le poissage a été provoqué par les bactéries lactiques seulement (Gill et Harrison, 1989) ou ; 3° par la combinaison d'une forte croissance des bactéries lactiques et des entérobactéries (Taylor et al., 1990).

Une forte croissance des bactéries lactiques et une faible croissance des autres micro-organismes sur de la viande d'agneau emballée sous CO₂ 100% à 5°C ont été observées. Des résultats similaires ont été obtenus à 0°C mais la forte croissance des bactéries lactiques ne fût évidente qu'après 28 à 42 jours de conservation (Sheridan et al., 1997). Trois modèles de développement bactérien ont été observés pour la viande de porc emballée sous CO₂ 100% à 3-4°C. Enfors et al. (1979) ont noté une forte croissance des bactéries lactiques et une faible croissance des autres micro-organismes ; Gill et Harrison, (1989) ont mis en évidence une forte croissance des bactéries lactiques et des *Brochothrix thermosphacta* ; Blickstad et al. (1981), Blickstad et Molin (1983), Grant et Patterson (1991) ont tous observé une forte croissance des bactéries lactiques et des entérobactéries. Les résultats obtenus lors d'études sur la viande de bœuf (Rousset et Renerre, 1991) et sur la viande de porc (Blickstad et Molin, 1983 ; Gill et Harrison, 1989) emballées sous de fortes concentrations de CO₂ à -1,5-2°C ont indiqué une croissance élevée des bactéries lactiques seulement.

Facteurs d'altération de la viande

La population microbienne de la viande fraîche peut être affectée par l'espèce, la santé et les manipulations faites sur l'animal ; les techniques d'abattage ; le refroidissement des carcasses et l'hygiène exercée lors des manipulations des pièces de viande (Christopher et al., 1979 ; Young et al., 1988). L'énumération des différents modèles cités plus haut démontre clairement qu'il existe plusieurs patrons de microflore bactériennes sur la viande (Sheridan et al., 1997). Ces patrons, variables d'un type de viande à l'autre et à l'intérieur d'un même type de viande,

dépendent en grande partie de la technologie d'emballage (sous-vide ou sous atmosphère modifiée) et de la température de conservation (Sheridan et al., 1997). D'autres facteurs extrinsèques peuvent aussi être impliqués ; la charge microbienne de départ et sa composition (Gill et Penney, 1988), la perte d'exsudat (Khan et al., 1975) et la forme de la pièce de viande (Doherty et al., 1995 ; Sheridan et al., 1997). Des facteurs intrinsèques de la viande comme le ratio viande maigre/gras (Grau, 1983 ; Vanderzant et al., 1986) et le pH (Erichsen et Molin, 1981 ; Rousset et Renner, 1991) peuvent aussi contribuer au développement du poissage. Les taux de glucose et de glucose-6-phosphate musculaires peuvent jouer un rôle important car ils sont utilisés durant la croissance aérobie et anaérobie des bactéries sur la viande (Gill et Newton, 1977 ; Newton et Gill, 1978). La multitude de modèles de microflore bactérienne causant le poissage de la viande fait en sorte qu'il est extrêmement difficile d'assigner la production des mauvaises odeurs à un type précis de micro-organismes (Sheridan et al., 1997).

Facteurs physico-chimique

pH

Le pH est un facteur physico-chimique qui a un effet sur plusieurs autres facteurs très importants pour la qualité de la viande comme la couleur, la capacité de rétention d'eau et la tendreté (McKeith et al., 1982 ; Smulders et Eikelenboom, 1985 ; Buts et al., 1986 ; Eikelenboom et Smulders, 1986 ; Smulders et al., 1989 ; Guignot et al., 1992). Pour les viandes normales, le pH *post mortem* chute de 7 à environ 5,5. Cette baisse est causée par la conversion du glycogène en acide lactique (Offer et Knight, 1988a). La vitesse et l'amplitude de cette baisse de pH peuvent affecter les qualités organoleptiques de la viande. Par exemple, pour une valeur de pH final de 5,7 ou moins, plus la chute du pH est rapide, plus les protéines musculaires sont dénaturées. Ceci affaiblit l'intensité de la couleur, augmente l'exsudation et peut affecter défavorablement la tendreté (Monin, 1993). Seman et al. (1988 ; 1989) ont observé que le pH de la viande sauvage conservée sous CO₂ 100% était plus bas que le pH de la viande conservée sous-vide. Huffman (1974) a soulevé la possibilité que le CO₂ dissout dans la

viande pouvait être responsable de cette baisse de pH. De plus, Ledward (1970) a remarqué une acidification de surface conjointement à une absorption du CO₂ dans la viande. Par contre, Holley et al. (1994b), Blickstad et al. (1981), Anjaneyulu et Smith (1986) et Bruce et al. (1992) n'ont noté aucune acidification de la viande de porc conservée sous CO₂.

Pertes exsudatives

L'eau de la viande peut être perdue par l'évaporation, la cuisson ou l'exsudation (den Hertog-Meischke et al., 1997). L'exsudation augmente avec une hausse de température de conservation, et cette augmentation est d'autant plus importante que la durée de stockage sous atmosphère modifiée est longue (Lacoste et Chatenet, 1996a ; Ooraikul et Stiles, 1991). Variable selon la nature de la pièce de viande, l'exsudation est quantitativement liée au degré de parage de la viande qui a plus ou moins perdu ses protections naturelles (couches de gras, tissus conjonctifs) (Lacoste et Chatenet, 1996a). Les quantités de pertes exsudatives sont aussi fortement reliées au pH de la viande (Hamm, 1960), à la contraction des myofibrilles et à la vitesse de refroidissement (Honikel et al., 1986 ; Penny, 1977 ; Tarrant et Mothersill, 1977 ; Warris et Brown, 1987). La conservation à 0°C ou à 4°C a peu d'effet sur la perte d'exsudat de la viande de boeuf emballée sous-vide (Zarate et Zaritzky, 1985). Holley et al. (1994b) n'ont noté aucun effet significatif du temps, du gaz utilisé, de la pression et de la température sur les pertes exsudatives de la viande de porc. Cependant, l'absence d'effet significatif pouvait être due à un coefficient de variation très élevé (~34%). La conservation de la viande sous CO₂ 100% semble occasionner davantage de pertes exsudatives que la conservation sous-vide (Renner, 1987). Cependant, O'Keefe et Hood (1980-1981) ont observé des pertes exsudatives plus élevées pour la viande de bœuf emballée sous-vide que celle emballée sous atmosphère modifiée. La quantité d'exsudat perdue serait en relation avec la puissance du vide exercée sur le produit et le type de viande (Lacoste et Chatenet, 1996a ; Sorheim et al., 1996). Il est possible que les contradictions rencontrées dans la littérature au niveau du pH et des pertes exsudatives des emballages sous-vide versus CO₂ ne soient pas étrangères l'une de l'autre, puisque le pH a un effet direct sur les pertes exsudatives. Les vibrations occasionnées par le

transport de la viande pourraient affecter le taux initial de pertes exsudatives mais pas la quantité totale d'exsudat. Ce facteur serait particulièrement important pour la viande de veau (den Hertog-Meischke et al., 1997).

Rôles du fer

Il a été longtemps accepté que les hémoprotéines et les autres porphyrines ferreuses accélèrent l'oxydation des lipides et que les hémoprotéines étaient les prooxidants majeurs de l'oxydation des lipides des produits carnés (Tappel, 1952 ; Watts, 1954 ; Younathan et Watts, 1958). Plus récemment, Sato et Hegarty (1971), Love et Pearson (1974) et Igene et al. (1979) ont présenté des résultats suggérant que le fer non-hémique serait le prooxidant majeur dans les viandes cuites. Ils ont conclu que les pigments de la viande n'ont aucun effet catalytique sur l'oxydation des lipides dans les viandes cuites. Un rôle de la myoglobine sur l'oxydation des lipides demeure malgré tout accepté (Greene, 1969 ; Govindarajan et al., 1977). Gomez-Basauri et Regenstein (1992) n'ont trouvé aucune influence de la conservation sous-vide sur les taux de fer hémique et non-hémique.

Rancidité

La stabilité des lipides signifie le maintien des acides gras à l'état natif. L'oxydation des lipides est souvent due à l'oxydation des acides gras insaturés catalysée par les mêmes facteurs qui oxydent le pigment de la myoglobine en metmyoglobine (Zhao et al., 1994). Comme le phénomène d'oxydation des lipides est un processus plus lent que la décoloration ou la croissance bactérienne, il n'est habituellement pas le déterminant majeur de la durée de vie dans les emballages perméables à l'air (Zhao et al., 1994). Cependant, sous atmosphère modifiée, les composés malodorants produits par l'oxydation des lipides sont retenus dans l'emballage et posent un problème lorsque le consommateur ouvre l'emballage (McMillin, 1993). Ordonez et Ledward (1977) ont même suggéré que dans une atmosphère optimale pour le contrôle du développement bactérien et de la décoloration, l'oxydation des lipides pouvait devenir un

facteur limitant. Elle est responsable d'une grande variété de réactions indésirables comme la perte de la couleur et de la flaveur de la viande (Benedict et al., 1975 ; Pearson et al., 1983), des réactions avec des protéines, entraînant des pertes de protéines fonctionnelles et une diminution de la valeur nutritive (Matsushita, 1975 ; Gardner, 1979). Les produits de l'oxydation pourraient causer aussi des maladies cardio-vasculaires (Addis, 1986) et le cancer (Pearson et al., 1983 ; Addis, 1986). Les dérivés de l'oxydation du cholestérol ont plusieurs activités biologiques, comme l'angiotoxicité (Jacobson et al., 1985 ; Mattias et al., 1987 ; Hubbard et al., 1989), l'inhibition de la biosynthèse du cholestérol (Kandutsch et Chen, 1978), l'athérogénèse (Taylor et al., 1979), la cytotoxicité (Peng et al., 1979 ; Sevenian et Peterson, 1986), la carcinogénèse (Shamberger et al., 1974) et la mutagénèse (Sevanian et Peterson, 1986 ; Ansari et al., 1982). Il n'y a pas de corrélation entre l'évolution de l'oxydation des lipides et la quantité de gras de la viande ou le profil des acides gras (Faustman et al., 1992b). Bohnsack et al. (1988) ont rapporté que de fortes concentrations de CO₂ peuvent accélérer l'oxydation de la myoglobine et des lipides dans le tissu musculaire. Par contre, Krala et Michalowski (1993) ont noté que la conservation de la viande de poulet sous atmosphère modifiée contenant 75 % de CO₂ avait pour effet de retarder l'oxydation des pigments et des lipides.

L'acide 2-thiobarbiturique (TBA) est un composé couramment utilisé à cause de sa réactivité avec les aldéhydes et les cétones (Guillén-Sans, 1986). Turner et al. (1954) ont été les premiers à utiliser le TBA pour évaluer la rancidité de la viande de porc congelée. Les valeurs de TBA représentent le taux d'aldéhydes (malonaldéhyde) dans la fraction lipidique de la viande qui a été oxydée (Guillén-Sans et Guzmán-Chozas, 1998).

Couleur

Dans la plupart des pays, la couleur pâle est l'un des principaux critères de qualité de la viande de veau (Miltenburg et al., 1992). La myoglobine et de faibles quantités résiduelles d'hémoglobine sont responsables de la couleur de la viande de veau fraîche (MacDougall et al., 1973 ; MacDougall, 1982 ; Agboola et al., 1990). La quantité de fer ingérée par les veaux de

lait lors de l'engraissement est restreinte au minimum pour limiter la pigmentation rouge du muscle (Bremner et Dalgarno, 1973 ; Bremner et al., 1976 ; Wensing et al., 1986). Quelques méthodes de mesure de la couleur ont été développées dans le but de permettre une évaluation plus objective et plus précise de la couleur. La méthode la plus employée pour évaluer la couleur de la viande est celle basée sur le système Hunter L^* a^* b^* . L'appareil décompose la couleur à la manière de l'œil humain. Le paramètre L^* est la mesure de la luminosité (quantité de lumière réfléchie par l'échantillon), le paramètre a^* reflète la variation du vert au rouge et le paramètre b^* celle du bleu au jaune (de Man, 1990).

La déoxy-myoglobine est le principal pigment du muscle en absence d'oxygène et elle produit la couleur pourpre caractéristique de la viande fraîchement coupée ou emballée sous-vide (Zhao et al., 1994). L'oxy-myoglobine est la forme oxygénée du pigment musculaire et est responsable de la couleur rouge clair que le consommateur recherche pour la viande de bœuf (Zhao et al., 1994). Elle est stable 1-2 jours, cette période étant variable selon le type de muscle, et s'oxyde par la suite pour former la metmyoglobine (MacDougall, 1977). Cette dernière génère une indésirable couleur brune causant le rejet de la viande de la part du consommateur (Zhao et al., 1994). Cette forme de la myoglobine est engendrée par l'oxydation du noyau hème résultant de la faible tension en oxygène ou d'autres situations causant l'oxydation (Seideman et Durland, 1984 ; Young et al., 1988). Cependant, si la quantité d'oxygène en contact avec la viande n'est pas trop élevée, l'oxygène résiduel est capté par la viande et l'activité réductrice de la metmyoglobine du tissu musculaire réduit la metmyoglobine en déoxy-myoglobine (O'Keefe et Hood, 1980-81). Après la réversion de la metmyoglobine, la viande replacée à l'air reprend sa couleur rouge clair (Gill, 1990). La perte de l'activité réductrice de la metmyoglobine a été attribuée à la chute du pH musculaire lors de la période de *rigor mortis*, à la réduction de substrat et de cofacteurs disponibles, et à la perte de la structure et de l'intégrité mitochondriale (O'Keefe et Hood, 1982 ; Giddings, 1977 ; Fox, 1966).

La couleur peut également être influencée par la charge bactérienne. Robach et Costilow (1961) ont noté que la surface de la viande fraîche passe du rouge (oxy-myoglobine) au brun

(metmyoglobine) et au pourpre (myoglobine) avec l'augmentation des comptes bactériens aérobies ; ils en ont déduit que les bactéries réduisaient la tension en oxygène à la surface de la viande et changeaient ainsi la couleur de la viande. Stringer et al. (1969) ont aussi noté que la décoloration à la surface de la viande était liée au nombre de bactéries. Cependant, l'oxydation des pigments n'est pas l'unique raison de la décoloration de la viande de veau. Monin (1993) a démontré qu'une chute très rapide du pH après l'abattage augmente la dénaturation des protéines musculaires et peut avoir un effet plus important sur la décoloration de la viande de veau que l'oxydation des pigments. Le maintien de la couleur durant la conservation sous-vide ou sous atmosphère modifiée s'améliore lorsque les températures de stockage diminuent (Lacoste et Chatenet, 1996a).

Les résultats des études concernant les effets du CO₂ sur la couleur de la viande sont contradictoires (Zhao et al., 1994). Ledward (1970) a trouvé que la viande conservée sous de fortes concentrations de CO₂ a tendance à développer une teinte grisâtre, probablement due à une baisse de pH et la précipitation subséquente de certaines protéines sarcoplasmiques. Depuis les travaux de Ledward (1985), il est bien admis que de faibles quantités résiduelles d'oxygène dans l'emballage vont faciliter la décoloration (Rousset et Renner, 1991). Taylor (1972) a pour sa part observé que 50% à 80 % de CO₂ se trouvait souvent dans l'espace de tête des produits emballés sous-vide sans affecter pour autant la couleur de la viande. Ordonez et Ledward (1977) ont indiqué que la formation de metmyoglobine à la surface de la viande de porc est indépendante de la concentration de CO₂. Bartkowski et al. (1982) ont remarqué qu'une concentration de 15% de CO₂ ne provoque pas l'assombrissement de la viande de boeuf. Ils ont alors suggéré que le CO₂ pourrait être utilisé à de plus grandes concentrations s'il est combiné à 40 % ou plus d'oxygène sans détériorer la couleur de la viande.

A de faibles concentrations d'oxygène (<1%), la myoglobine du boeuf est rapidement oxydée en metmyoglobine (Ledward, 1985). Un emballage ayant un espace de tête contenant aussi peu que 0,1% d'oxygène engendre rapidement une décoloration de la surface de la viande (Jeremiah et al., 1992). La coloration brune apparaîtra aussi si de l'oxygène s'introduit dans l'emballage

durant la conservation. Si la coloration brune n'apparaît pas, une contamination d'oxygène dans l'emballage peut mener à une instabilité de la couleur au moment de la vente de la viande au comptoir (Seideman et al., 1980). Ces problèmes peuvent être évités si l'espace de tête contient au départ moins de 0,05% d'oxygène et si la contamination par l'oxygène en cours de conservation est évitée en utilisant des sachets laminés d'aluminium (Gill, 1989). La viande de porc, pour sa part, peut tolérer une plus forte concentration d'oxygène résiduel (Silliker et al., 1977). Ces résultats suggèrent qu'une viande de couleur plus pâle comme celle du veau de lait pourrait être plus stable qu'une viande plus foncée comme celle du veau de grain.

Tendreté

La tendreté est un des plus importants paramètres de la qualité de la viande (Gariépy et al., 1990). Les changements de la tendreté de la viande durant la cuisson sont reliés aux composantes structurales du tissu musculaire ; les fibres musculaires et les fibres du tissu conjonctif (Moller, 1980-1981). La nature et les changements que subissent ces deux composantes peuvent avoir des effets opposés sur la tendreté. La cuisson induit un changement des fibres de tissu conjonctif en une fraction granulaire et plus soluble qui attendrit la viande (50-60°C), alors que le durcissement des protéines myofibrillaires réduit la tendreté de la viande (60-75°C) (Draudt, 1972 ; Laakonen et al., 1970). De plus, certains auteurs affirment que les mesures objectives de la tendreté de la viande obtenues par l'analyse des forces de cisaillement selon la méthode de Warner-Bratzler sont généralement plus basses pour la viande cuite à 60°C que celle cuite à 50°C (Machlik et Draudt, 1963 ; Draudt et al., 1964 ; Draudt, 1972 ; Bouton et Harris, 1972a). Cependant, Davey et Gilbert (1974) ont démontré qu'un durcissement de l'ordre de 3 ou 4 fois plus grand survient lors de la première phase de la cuisson, entre 40°C et 50°C, suivi d'un autre durcissement 2 fois plus grand dans la deuxième phase de cuisson, entre 60°C et 75°C. La première phase a été associée à la dénaturation de la structure myofibrillaire et la seconde phase au durcissement du collagène. Ces résultats vont à l'encontre de ceux cités précédemment. Harris et Shorthose (1988) ont fait des essais pour tenter d'expliquer ce désaccord, et les résultats obtenus suggèrent que la divergence observée est imputable à la

méthode utilisée pour évaluer la tendreté. En effet, pour une même température de cuisson, le texturomètre “MIRINZ” utilisé par Davey et Gilbert (1974) ne mesurait pas les mêmes propriétés physiques que la méthode des forces de cisaillement de Warner-Bratzler. Des taux de cuisson et des températures à cœur variées ou la combinaison des deux ont été le sujet de plusieurs travaux visant à déterminer le traitement thermique optimal de divers types de viande (Moller, 1980-1981). Il est difficile d'établir une relation entre les changements des composantes structurales du tissu musculaire induits par la cuisson et la tendreté de la viande car l'interprétation des résultats des forces de cisaillement est complexe (Moller, 1980-1981). La tendreté est directement liée à l'âge de l'animal et l'état du tissu conjonctif (Bouton et Harris, 1972a ; Schmidt et al., 1970 ; Draudt, 1972), les méthodes de cuisson et l'état de la contraction myofibrillaire (Bouton et al., 1975 ; Locker, 1960 ; Locker et Hagyard, 1963 ; Marsh et Leet, 1966). Il y a aussi des évidences (Bouton et Harris, 1972b) que les mesures de forces de cisaillement sont moins affectées par les variations de la dureté du tissu conjonctif que par les changements de la structure myofibrillaire. Ces changements sont occasionnés par la coagulation des filaments de myosine lors de la cuisson (King, 1979). La dénaturation de la myosine se complète à des températures près de 60°C. L'augmentation des valeurs de force de cisaillement serait donc due à la dénaturation de la myosine, à l'assèchement par exsudation des fibres musculaires et à une augmentation de la densité de la viande cuite (Bouton et al., 1976).

Les études de Holley et al. (1994a), Jeremiah et al. (1992) ainsi que Gill et Penney (1988), portant sur l'effet de la conservation sous atmosphère modifiée sur la tendreté, n'ont pu démontrer de différences au niveau de la tendreté de la viande de porc conservée pour de longues périodes sous CO₂ à -1,5°C. La viande de veau nécessite au minimum 3 jours de maturation, dans des conditions de réfrigération douce, pour atteindre son niveau optimal de tendreté (Ouali et al., 1994). Le collagène joue un rôle plus important dans la tendreté du bœuf que celle du veau, car il durci avec une augmentation de l'âge de l'animal (Bowers et al., 1989).

Texture

La viande de boeuf conservée sous CO_2 développe des pores le long et entre les faisceaux des fibres musculaires (Gill et Penney, 1990). Le même phénomène a été rapporté pour le porc (Bruce et al., 1992). Cette apparence poreuse est présente seulement après la cuisson de la viande et seulement si cette dernière a été conservée un jour ou plus dans une atmosphère de 40 % ou plus de CO_2 (Bruce et al., 1996). Gill et Penney (1990) ont suggéré que l'apparence poreuse de la viande de boeuf conservée sous atmosphère modifiée serait due aux effets ioniques du CO_2 dissout qui solubiliserait les liens entre les fibres musculaires et la couche de périmysium. L'adhésion du périmysium aux fibres musculaires est générée par l'entrecroisement entre le collagène de type I du périmysium et le collagène de type III de l'endomysium (Henkel et Glanville, 1982), et la solubilisation de ces liens semble peu probable car les liens entre des fibres de collagène matures sont résistants aux acides faibles et aux solutions salines (Bruce et al., 1996). Cependant, l'adsorption de CO_2 dans les acides aminés du collagène pourrait abaisser la température de dénaturation du collagène en brisant les ponts hydrogène de sa triple hélice (Bruce et al., 1996). Les résultats obtenus par ces derniers indiquent que la production de pores dans la viande cuite n'est pas due à une solubilisation ionique des protéines musculaires comme l'ont suggéré Gill et Penney (1990), mais plutôt à la libération rapide durant la cuisson du CO_2 accumulé dans les joints du périmysium. Les pores pourraient être localisés au périmysium car c'est la région la plus fragile de la viande cuite (Purslow, 1985). De plus, les résultats de Bruce et al. (1996) suggèrent que le collagène brut n'absorbe pas le CO_2 facilement.

La technologie de l'emballage sous atmosphère modifiée devrait permettre d'améliorer la compétitivité de l'industrie du veau en générant des produits à valeur ajoutée (production de produits prêts pour le commerce au détail) et en abaissant les coûts de production par une meilleure gestion de l'écoulement des stocks, une plus grande latitude au niveau du transport et une réduction des pertes dues à une conservation trop courte. Elle devrait aussi permettre de consolider le marché actuel en répondant à la transition du marché des produits congelés vers

les produits frais et éventuellement d'accéder à des marchés éloignés qui n'ont pas été encore exploités (Demers et al., 1996). Les objectifs de ce projet sont d'évaluer la qualité microbiologique et les aspects physico-chimiques de la viande de veau lors de la conservation de longue durée sous-vide et sous CO₂ 100%, d'évaluer la durée de vie tablette du produit après conservation et finalement, de mettre en évidence les différences physico-chimiques entre le veau de lait et le veau de grain.

CHAPITRE 1 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1 Matière première

Les pièces de viandes utilisées pour cette étude étaient des muscles *Longissimus dorsi* (longe). La viande de veau de lait provenait de l'abattoir Écolait Ltée alors que celle de veau de grain provenait de l'abattoir A.L. Bellerive Inc. Les animaux étaient abattus depuis deux jours et les longes, emballées sous-vide, ont été livrées dans des camions réfrigérés dans le cas du veau de lait et dans des glacières contenant de la glace dans le cas du veau de grain.

1.2 Emballage et conservation

Tous les emballages ont été faits à une température de 2°C. Les longes ont été coupées en tranches. Ces dernières ont été placées sur du papier buvard dans des barquettes de polypropylène et recouvertes d'un film de PVC ayant un taux de transmission de l'oxygène de 15670 cc/m²/24h/760 Hg (à 23°C et 0% d'humidité relative). Des sachets laminés d'une double couche métallisée (polyester métallisé et nylon métallisé) ayant une perméabilité à l'oxygène moindre que 0,4 cc/m²/24h/atm (à 23°C et 90% d'humidité relative) et une perméabilité à l'eau inférieure à 0,4 gm/m²/24h (à 38°C et 90% d'humidité relative (Securefresh Pacific Limited, Nouvelle Zélande) ont été utilisés pour les emballages sous-vide et sous CO₂. Les barquettes conservées sous-vide ont été emballées individuellement et les sachets ont été scellés à l'aide d'une emballeuse de type Vac-U-Seal (Équipement Poirier Inc., Montréal, Canada). Celles conservées sous CO₂ ont été emballées individuellement à l'aide d'une emballeuse SP 2 (Securefresh Pacific Limited, Nouvelle Zélande). Le vide a été fait sous la cloche et le gaz, du CO₂ 100% (# 0110 ; B.O.C. Gaz, Drummondville, Canada), a été injecté dans les sacs à une pression de 35 psi.

Après l'emballage, tous les échantillons ont été conservés dans une chambre à 1°C pendant 35, 40 ou 45 jours. A l'ouverture, cinq des barquettes emballées sous-vide et cinq des barquettes emballées sous CO₂ ont été retirées de leur emballage (aluminium en feuilles) et placées à 4°C pour simuler un temps de conservation de tablette. Une barquette pour chacune des atmosphères a été utilisée pour les analyses aux jours d'ouverture.

1.3 Analyses microbiologiques

Trois tranches de veau de ½ pouce d'épais provenant de trois longes différentes ont été utilisées pour les analyses microbiologiques. Ces tranches ont été finement hachées à l'aide d'un hachoir à viande muni d'une plaque ayant des trous de 4 mm de diamètre (Moulinex, France) stérilisé dans de l'eau bouillante pendant 5 minutes. Dix g de viande hachée ont été transférés dans un sac à agitateur (modèle 400, Seward Medical, Londres, Angleterre) contenant 90 ml d'eau peptonée 0,1% (p/v) (Difco, Détroit, États-Unis). Le mélange a été homogénéisé pendant 2 minutes dans un agitateur (Stomacher 400 Lab blender, Seward medical, Londres, Angleterre). Des dilutions décimales ont été effectuées à partir de l'homogénat dans des tubes contenant 9 ml d'eau peptonée 0.1% et des étalements de 0,1 ml ont été faits en duplicata sur plaques de pétri. Les comptes suivant ont été effectués : l'énumération des bactéries aérobies sur du Plate Count Agar (PCA) (Difco) incubé à 35°C pendant 48 heures, l'énumération des bactéries anaérobies sur du Brain Heart Infusion (BHI) (Difco) incubé dans des jarres Gas Pak (GasPak system, BBL, Becton Dickinson, Cockeysville, États-Unis) contenant deux enveloppes génératrices d'anaérobiose (GasPak system H₂+CO₂, BBL, Becton Dickinson, Cockeysville, États-Unis) à 35°C pendant 48 heures, l'énumération des *Pseudomonas* sur du Pseudomonas Isolation Agar (PIA) (Difco) incubé à 35°C pendant 48 heures, l'énumération des entérobactéries sur du Violet Red Bile Glucose Agar (VRBGA) (Difco) incubé à 35°C pendant 24 heures, l'énumération des bactéries lactiques sur du milieu de Man, Rogosa et Sharpe (MRS) (Difco) incubé dans des jarres Gas Pak (GasPak system, BBL) contenant deux enveloppes génératrices d'anaérobiose (GasPak system H₂+CO₂, BBL) à 25°C pendant 72 heures et l'énumération des *Brochotrix*

thermosphacta sur du Streptomycin Thallous Acetate Actidione (STAA) (Gardner G.A., 1966) incubé à 21°C pendant 72 heures. Après incubation, les colonies ont été comptées pour chacun des milieux et les résultats ont été exprimés en (CFU/g) pour chacun des échantillons.

1.4 Analyses physico-chimiques

1.4.1 Mesure de la composition en eau

La composition en eau a été déterminée selon la méthode de l'A.O.A.C. # 22.013 (1984). Quatre à cinq g de viande hachée ont été pesés dans des cupules en aluminium (préalablement séchées et pesées) et mis dans un four à vide (~ 100 mm Hg) à 100°C pendant un minimum de 5 heures. Les cupules ont été retirées du four, refroidies et pesées. Trois mesures ont été prises sur chacune des trois longues pour chacun des types de veau. Les mesures ont été exprimées en % d'eau (p/p).

1.4.2 Mesure de la composition en gras

Le pourcentage de gras a été déterminé par la méthode d'extraction Soxtec. La viande a été hachée deux fois à l'aide d'un hachoir à viande muni d'une plaque ayant des trous de 4 mm de diamètre (Moulinex, France) et homogénéisée avec un coupe-légumes 2-Speed Super Chopper (Black & Decker, Brockville, Canada). La quantité approximative de viande a été pesée dans des cartouches et séchée 1 heure à 125°C dans un four à vide. Les échantillons de viande séchée ont été refroidis et ont subi une percolation à l'éther de pétrole à chaud avec l'appareil Soxtec System HT6 (Tecator, Suède). Les barillets à extraction contenant le gras récolté ont été séchés 30 minutes à 125°C dans un four à vide, refroidis et pesés. Trois mesures ont été prises sur chacune des trois longues pour chacun des types de veau. Les mesures ont été exprimées en % de gras dans la viande humide (p/p).

1.4.3 Mesure de la composition en protéines

La composition en protéines a été déterminée par la méthode de Kjeldahl. La viande a été hachée deux fois à l'aide d'un hachoir à viande muni d'une plaque ayant des trous de 4 mm de diamètre (Moulinex, France) et homogénéisée avec un coupe-légumes 2-Speed Super Chopper (Black & Decker, Brockville, Canada). Les échantillons de viande ont été pesés sur du papier sans azote # 12578-165 (VWR Scientifics Products, West Chester, E.U.) et les protéines ont par la suite été dosées avec l'appareil Kjeltex Auto Analyser 1030 (Tecator, Suède). Trois mesures ont été prises sur chacune des trois longues pour chacun des types de veau. Les mesures ont été exprimées en % de protéines dans la viande humide (p/p).

1.4.4 Mesure du pH

Des mesures de pH ont été prises à chacune des journées d'analyse (0, 35, 40, 45 et leurs cinq journées tablette) à quatre endroits différents sur la tranche de viande à l'aide d'un pH mètre (Oakton, Singapore) muni d'une électrode à pénétration conique Mettler Toledo de type LoT406-M6-DXK-S7/25 (Westech Industrial, Lachine, Canada) et d'une sonde de température. La moyenne de ces quatre mesures a servi pour les analyses.

1.4.5 Mesure de pertes par exsudation

Toutes les tranches de viande qui ont servi pour les analyses physico-chimiques des deux atmosphères (sous-vide et sous CO₂) ont été pesées (balance Libror EB-4000H, Shimadzu Corporation, Japon) au jour 0, avant d'être emballées. Par la suite, chacune des tranches, correspondant à une des journées évaluées (35, 40, 45 ou une de leurs cinq journées tablette), a été pesée à nouveau. La différence de poids a été exprimée en % de poids perdu par l'exsudation de la viande.

1.4.6 Mesure de perte à la cuisson

Les pièces de viande ont été pesées, emballées sous un vide léger dans un sac de plastique muni d'un thermocouple de type T # 8530-52 (Cole-Parmer Instrument Company, Chicago, États-Unis) relié à un thermomètre à thermocouple Digi-Sense (Barnant Co., Barrington, États-Unis) et cuites dans un bain à 73°C jusqu'à ce que la température à coeur soit de 68°C. Après la cuisson, elles ont été refroidies à l'eau courante pendant 2 heures et sorties du sac. Finalement, elles ont été légèrement éponnées et pesées à nouveau. Ces mesures ont été prises aux journées 0, 35, 40 et 45 et exprimées en % de poids perdu.

1.4.7 Mesure du fer total

Les échantillons de viande hachée ont préalablement été réduits en cendres selon la méthode officielle de l'A.O.A.C., dans un four à moufle à 525°C pendant 10 heures. Les cendres ont par la suite été resuspendues dans du HCl 2N (Fisher Scientific, Nepean, Canada) et analysées par la méthode de spectrophotométrie par absorption atomique, à l'aide de l'appareil SPECTRAA 100 (Varian Australia PTY Ltd, Australie) muni d'une lampe Cathodeon # 3QNY-Fe (Cathodeon Limited, Cambridge, Angleterre). Les mesures ont été faites pour les journées 0, 35, 40 et 45 et exprimées en µg de Fer/g de viande humide.

1.4.8 Mesure du fer non-hémique

Le fer non-hémique a été dosé selon la méthode de Schricker et al. (1982) modifiée par Rhee et Ziprin (1987). Cinq g ont été mis dans des tubes vissés de 50 ml contenant 0,2 ml de nitrite de sodium 0,39 % (p/v) et les tubes ont été « vortexés ». Quinze ml d'un mélange d'acide (HCl 6N + TCA 40 %, 1:1) ont été ajoutés aux tubes et ces derniers ont été brassés, incubés dans un bain à 65°C avec une agitation de 325 rpm pendant 20 heures, refroidis à la température de la pièce et « vortexés » à nouveau. Un ml a été transféré dans un tube vissé

contenant 5 ml de réactif de coloration (eau : acétate de sodium : bathophénanthroline ; 20:20:1) et un autre ml a été transféré dans un tube contenant 5 ml de réactif de coloration sans bathophénanthroline (eau : acétate de sodium ; 21:20). Ces tubes ont été centrifugés à 3500 x g pendant 10 minutes. L'absorbance du surnageant a été mesurée à 540 nm avec un spectrophotomètre Spectronic 401 (Milton Roy Company, Rochester, États-Unis). La valeur de la lecture obtenue pour le tube ne contenant pas de bathophénanthroline (valeur correspondant à l'absorbance due aux artefacts) a été soustraite de la valeur de la lecture obtenue pour le tube contenant de la bathophénanthroline. Les mesures ont été faites en triplicata pour les journées 0, 35, 40 et 45 et exprimées en µg de fer non-hémique/g de viande humide.

1.4.9 Mesure de la rancidité

Les valeurs de TBA ont été obtenues par la méthode par extraction de Witte et al., (1970) modifiée par Piette et Raymond (1998)¹. Vingt g d'échantillon haché ont été homogénéisés 1 min en présence de 50 ml d'acide trichloroacétique (TCA) 5 % (Mallinckrodt Canada inc., Pointe-Claire, Canada) dans un contenant en acier inoxydable de 400 ml. Le volume a été complété à 100 ml dans un ballon volumétrique avec de l'eau déionisée. Le tout a été filtré sur un papier Whatman #1 (Whatman international Ltd, Maidstone, Angleterre). La coloration a été faite dans des tubes vissés de 50 ml avec 5 ml d'acide thiobarbiturique (TBA) 80 mM (Aldrich Chemicals Co., Milwaukee, États-Unis) et 5 ml de filtrat chauffé à 100°C pendant 5 minutes. Les tubes ont été refroidis ~ 10 minutes dans l'eau glacée et l'absorbance mesurée avec un spectrophotomètre Spectronic 401 (Milton Roy Company, Rochester, États-Unis) à 530 nm. Les mesures ont été prises en duplicata aux journées 0, 35, 40 et 45 et exprimées en mg de malonaldéhyde/kg de viande.

1.4.10 Mesure de la couleur

Des mesures de couleur L^* (brillance), a^* (indice du rouge) et b^* (indice du jaune) ont été prises selon les normes CIE à chacune des journées d'analyse (0, 35, 40, 45 et leurs cinq journées tablettes) avec un spectrophotomètre HunterLab Labscan II 0/45 (Hunter associates Laboratory inc., Reston, États-Unis) possédant une ouverture de 2,5 cm, un angle de 10° et un illuminant D65. Ces mesures ont été prises à trois endroits sur l'axe longitudinal de la tranche. A chacune des journées d'ouverture, la couleur a été mesurée dès la sortie de l'emballage et après 30 minutes à l'air afin d'évaluer la capacité de la viande à se réoxygéner (bloom).

1.4.11 Calcul de la teinte et de la saturation

La teinte et la saturation permettent de mettre en relation les paramètres de couleur a^* et b^* . La teinte a été calculée avec l'équation $T = \tan^{-1} (b^*/a^*)$ et la saturation avec $S = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$.

1.4.12 Mesure de la tendreté

Les mesures de tendreté ont été effectuées selon la méthode de Warner-Bratzler modifiée par Moller (1980-1981). Après cuisson, les pièces de viande ont été découpées en bâtonnets dans le sens des fibres musculaires et avec une section transversale de 1 cm^2 . Ces lanières ont été coupées à angle droit par une lame à encave triangulaire (# 2830-013 ; Instron Corp., Canton, États-Unis) avec l'appareil INSTRON 4201 (Instron Corp., Canton, États-Unis), qui a été utilisé en mode compression avec une cellule de charge de 5 KN (500 Kg) (Instron Corp., Canton, États-Unis). La lame évoluait sur une distance de 20 mm à une vitesse de 50 mm/min. Neuf mesures ont été prises par échantillon aux journées 0, 35, 40 et 45 et elles ont été exprimées en kg.

1.4.13 Évaluation de la texture

Des photographies ont été prises avec un appareil Nikon FM-2 muni d'une lentille Micro-NIKKOR 55 mm 1:28 et d'un filtre L37 52 mm (Nikon, Japon) et des pellicules Fujicolor Super G Plus 200 ASA (Fuji Photo Film Co. Ltd., Tokyo, Japon) aux journées d'ouverture et après la cuisson afin d'évaluer l'effet des gaz sur la texture de la viande cuite.

1.5 Dispositif expérimental

Les analyses de composition de la matière première (% eau, gras, protéines) ont été faites en triplicata sur trois longes de veau de grain et trois longes de veau de lait.

Les effets de la conservation de la viande de veau sous atmosphère modifiée ont été évalués sur cinq répétitions pour le veau de lait et cinq répétitions pour le veau de grain. Pour chacune d'elles, deux atmosphères (sous-vide et CO₂ 100%) ont été testées sur une durée totale de 50 jours. Les effets de chacune des atmosphères sur la viande ont été évalués aux temps 0, 35, 40 et 45 jours et sur cinq journées de vie de tablette (tableau 1), de façon à simuler les conditions retrouvées sur les rayons des supermarchés.

Cinq longes ont été utilisées par répétition. Deux d'entre elles ont servi pour les analyses physico-chimiques ; une pour l'emballage sous-vide et l'autre pour l'emballage sous CO₂. Chacune de ces longes a été coupée en quatre morceaux de 3 pouces pour les différentes analyses physico-chimiques aux jours 0, 35, 40, 45 et vingt tranches de ½ pouces pour les analyses des journées tablette (figure 1).

Tableau 1. Schéma expérimental d'une répétition

Type d'emballage	Longe				Longe			
	CO ₂				Sous-vide			
Temps de conservation (jours)	0	35	40	45	0	35	40	45
Temps tablette (jours)	0, 1, 2, 3, 4, 5	0, 1, 2, 3, 4, 5	0, 1, 2, 3, 4, 5	0, 1, 2, 3, 4, 5	0, 1, 2, 3, 4, 5	0, 1, 2, 3, 4, 5	0, 1, 2, 3, 4, 5	0, 1, 2, 3, 4, 5

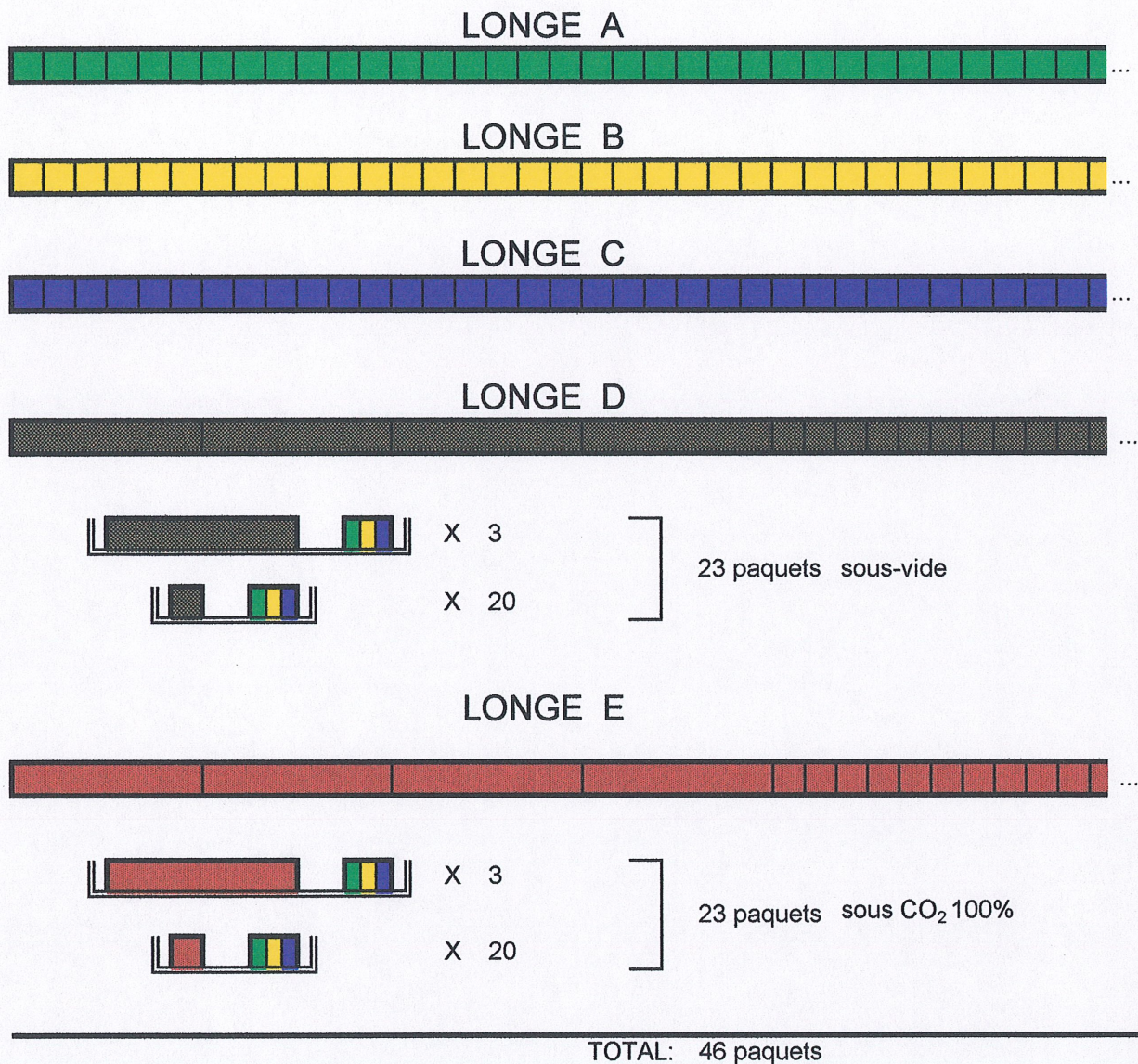
La qualité physico-chimique de la viande a été vérifiée par des mesures de pH, de couleur et de rétention d'eau à chacun des jours d'ouverture (0, 35, 40, 45) et chacune des journées tablette, et par des mesures de la quantité de malonaldéhyde (valeurs TBA), de fer total, de fer non-hémique, de tendreté et de texture à chacun des jours d'ouverture (0, 35, 40, 45).

Les trois autres longes ont servi pour les analyses microbiologiques et ont été coupées en tranches de ½ pouce. La qualité microbiologique de la viande a été évaluée à l'aide de comptes bactériens à chacun des jours d'ouverture (0, 35, 40, 45) et chacune des journées tablette. Pour chaque compte bactérien des emballages sous-vide et sous CO₂, trois tranches (une de chacune des longes) ont été placées dans une même barquette (figure 1).

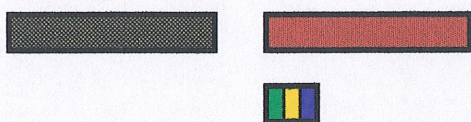
1.6 Analyses statistiques

Une analyse en composante principale (A.C.P.) a été effectuée avec la procédure “ factor ” du logiciel SAS (SAS/STAT 6.12, SAS Institute Inc., Cary, N.C., 1996.). Cette analyse avait pour but de mettre en évidence les relations entre les variables microbiologiques et les tendances générales associées aux traitements type de veau, type d'emballage, temps de conservation et temps de tablette. Des tables de corrélation ont été obtenues à l'aide de la procédure CORR du logiciel SAS. Elles ont permis d'étudier les relations deux à deux des différentes variables microbiologiques et physico-chimiques.

Pour les analyses des variables microbiologiques et physico-chimiques, l'étude des effets des traitements type de veau, type d'emballage, temps de conservation, temps tablette et des interactions a été effectuée à l'aide de l'analyse de variance (ANOVA). Les longues ont été incluses dans le modèle statistique en tant que blocs. Les résultats des analyses de variance ont été obtenus à l'aide de la procédure GLM du logiciel SAS et les sommes de carrés de type III ont été utilisées puisque certaines valeurs manquantes engendraient des plans non balancés. Pour les variables microbiologiques et certaines variables physico-chimiques (pH, pertes exsudatives et les paramètres de couleur L^* , a^* et b^*), les analyses de variances ont été effectuées en regroupant les traitements temps de conservation et temps tablette en un seul traitement de 24 modalités, permettant ainsi d'illustrer plusieurs effets sur un même tableau. Le test de comparaison multiple de Duncan a été utilisé pour mettre en évidence les modalités qui étaient significativement différentes. Ces analyses ont été effectuées par type de veau et par type d'emballage.



Traitées séparément :



Ces tranches n'ont pas été emballées.
Elles ont servi à prendre des mesures
au temps zéro.

LÉGENDE:

: barquette

: tranche de 3 pouces

: tranche de ½ pouce

: 3 tranches de ½ de pouce, une de la longe A, une de la longe B et une de la longe C

Figure 1. Dispositif expérimental d'une répétition

CHAPITRE 2 - RÉSULTATS

2.1 Microbiologie

2.1.1 Bactéries aérobies

Les bactéries aérobies sont significativement plus nombreuses chez le veau de grain et leur croissance se stabilise après une durée de conservation de 35 jours ($p < 0,0001$) (figure 2a) alors que la viande emballée sous CO_2 présente significativement moins de bactéries que celle emballée sous-vide ($p = 0,0003$) (figure 3a). Les moyennes des journées tablette pour les bactéries aérobies sont présentées à la figure 4a. Les journées 0, 1 et 2 présentent des moyennes significativement moins élevées que les journées 3, 4 et 5 ($p < 0,05$).

2.1.2 *Brochothrix thermosphacta*

Cette population bactérienne est significativement moins élevée chez le veau de lait ($p < 0,0001$) et leur croissance se stabilise après 35 jours de conservation ($p = 0,0282$) (figure 2b). Le nombre de bactéries augmente durant la conservation sous-vide alors qu'il diminue sous CO_2 ($p = 0,0001$) (figure 3b). Les journées de tablette 0, 1 et 2 présentent des moyennes significativement moins élevées que les journées 3, 4 et 5 ($p < 0,05$) (figure 4b). L'interaction entre le temps tablette et le temps de conservation ($p < 0,05$) est due à l'augmentation importante du nombre de *B.thermosphacta* durant la vie de tablette du groupe témoin comparativement aux échantillons conservés durant 35 jours ou plus (figure 4b). Il y a une interaction entre le type de veau et le type d'emballage utilisé ($p = 0,0001$) ; le veau de grain ne présente pas beaucoup plus de bactéries que le veau de lait pour un emballage sous-vide tandis qu'il en présente nettement plus pour un emballage sous CO_2 (tableau 2).

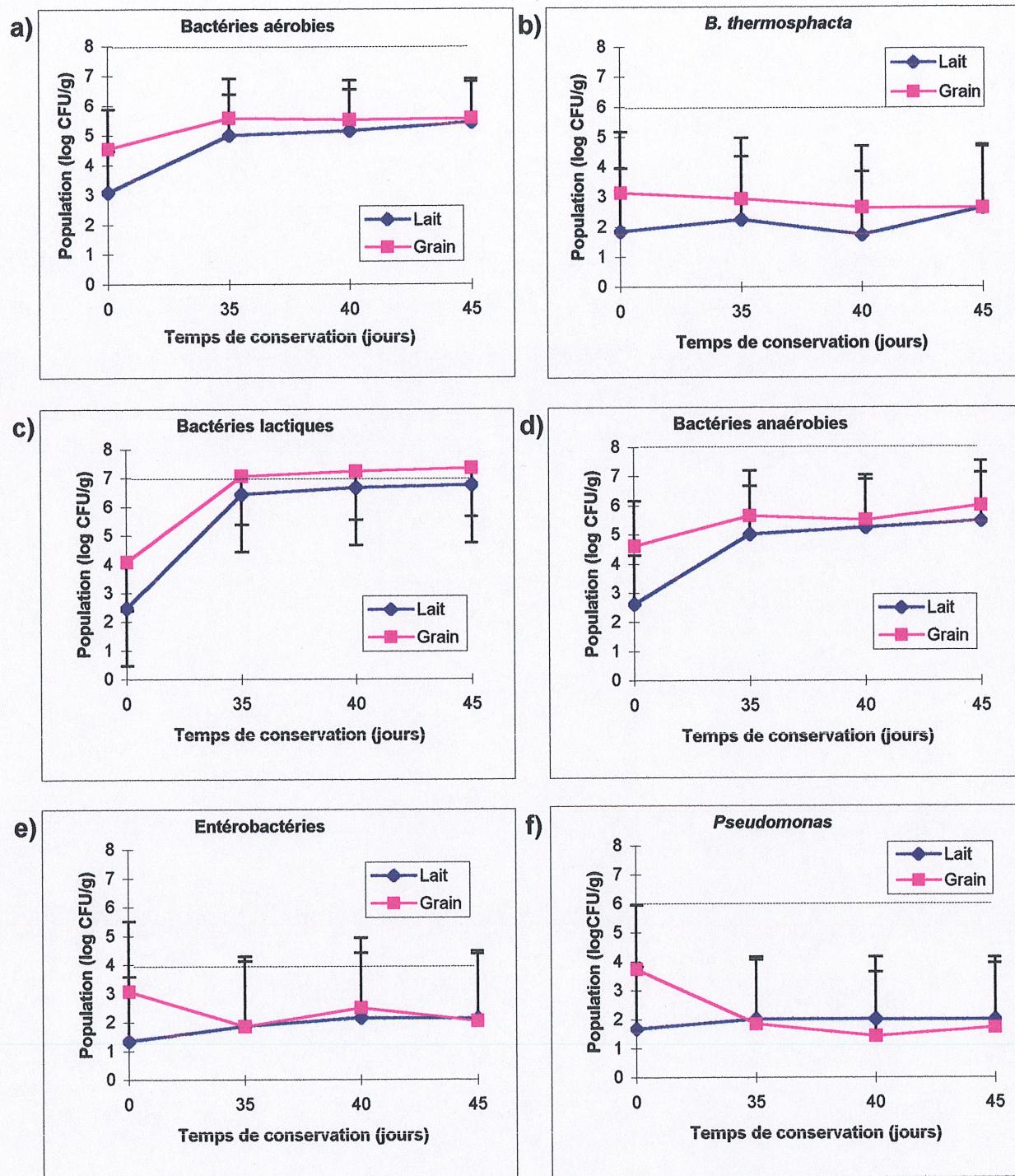


Figure 2. Comparaison des populations bactériennes [a) bactéries aérobies ; b) *Brochothrix thermosphacta* ; c) bactéries lactiques ; d) bactéries anaérobies ; e) Entérobactéries et f) *Pseudomonas*] du veau de grain et du veau de lait pour les temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours, tout autre traitement confondu. Le trait (----) représente la norme acceptable et les barres d'erreur représentent l'écart type.

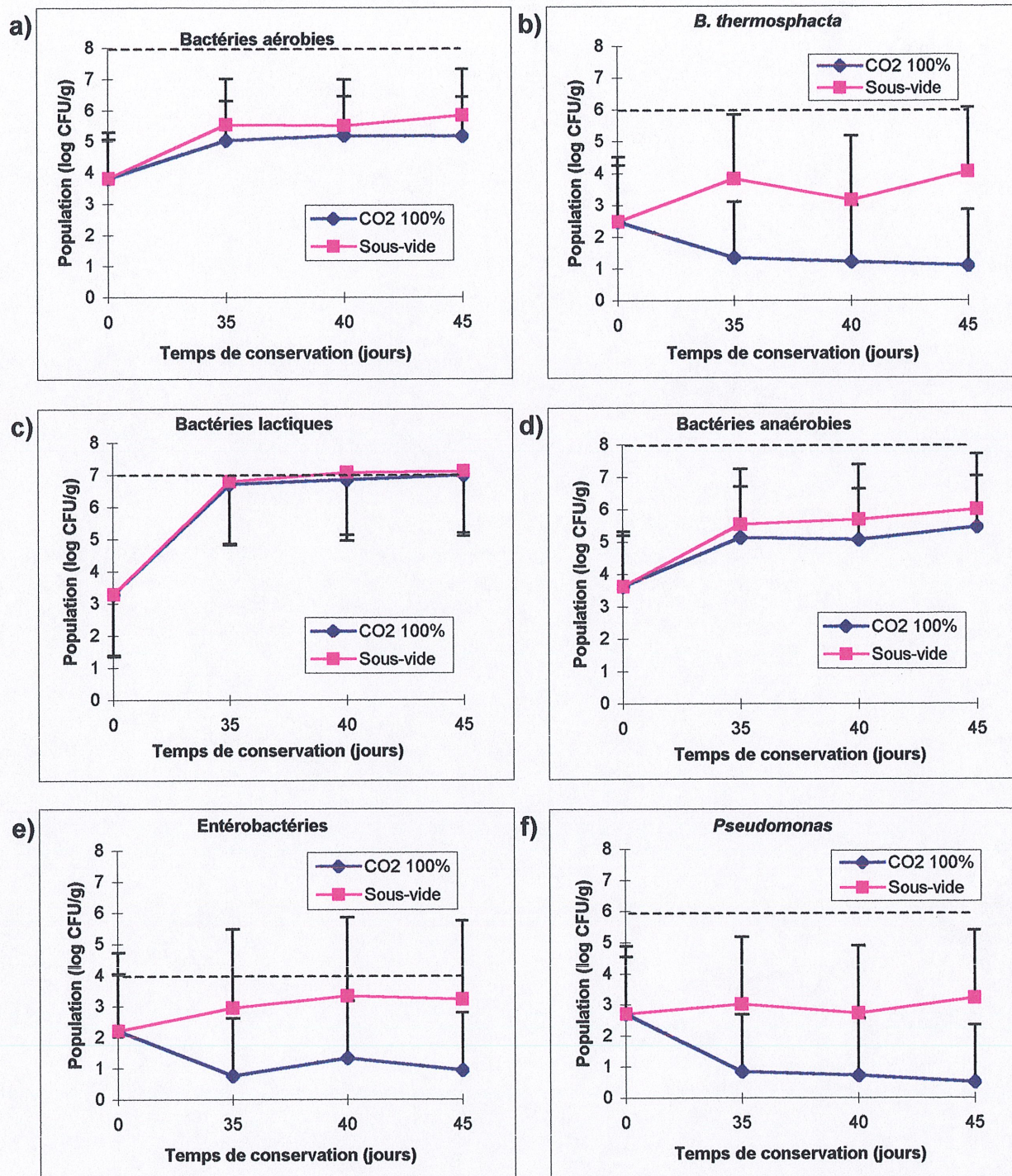


Figure 3. Comparaison entre les effets de l'emballage sous CO₂ et l'emballage sous-vide sur : a) les bactéries aérobies ; b) les *Brochothrix thermosphacta* ; c) les bactéries lactiques ; d) les bactéries anaérobies ; e) les Entérobactéries et f) les *Pseudomonas*, pour les temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours. Tout autre traitement confondu. Le trait (----) représente la norme acceptable et les barres d'erreur représentent l'écart type.

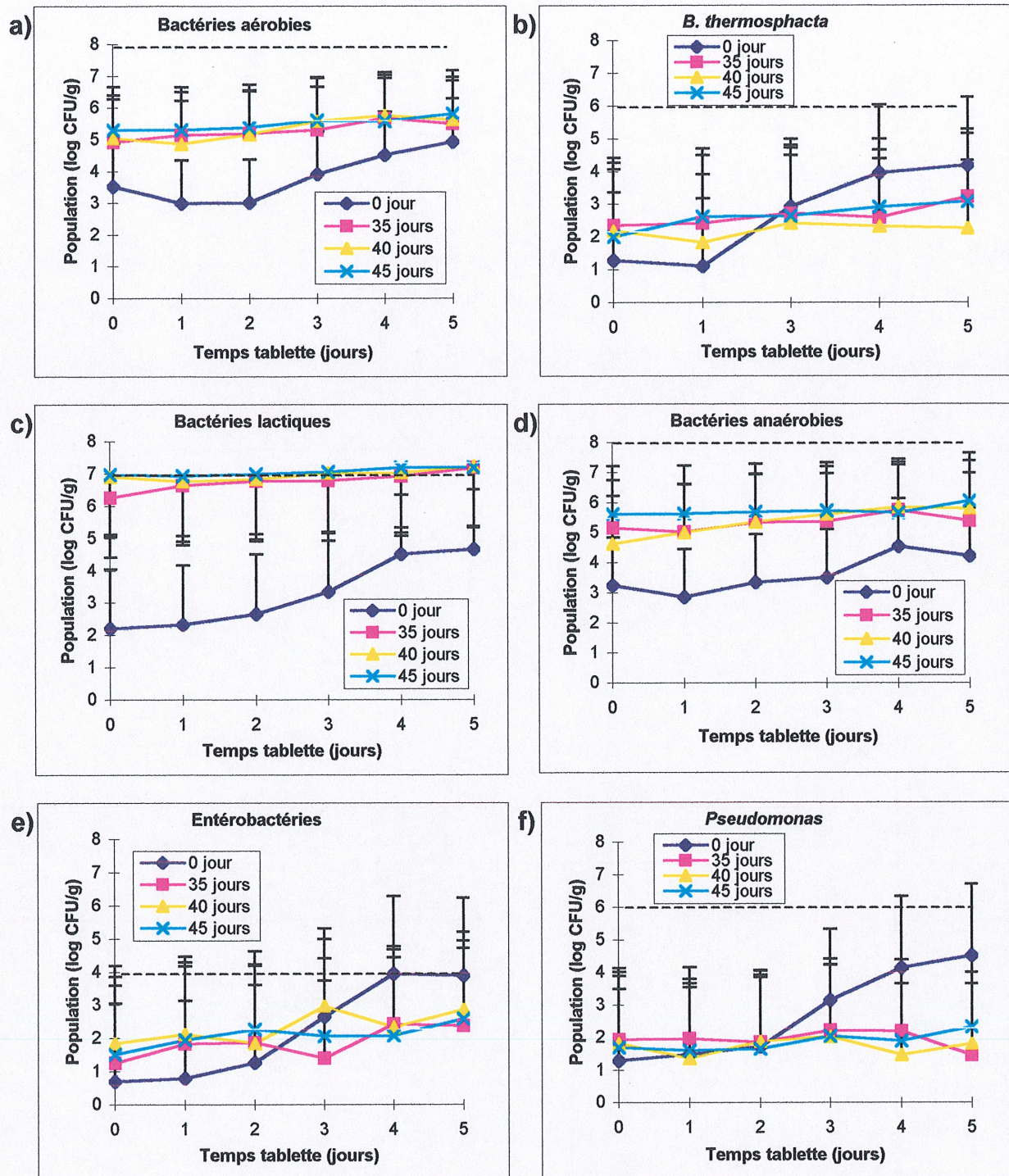


Figure 4. Comparaison des populations bactériennes [a) bactéries aérobies ; b) *Brochothrix thermosphacta* ; c) bactéries lactiques ; d) bactéries anaérobies ; e) Entérobactéries et f) *Pseudomonas*] des temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours aux jours tablette 0, 1, 2, 3, 4 et 5, tout autre traitement confondu. Le trait (----) représente la norme acceptable et les barres d'erreur représentent l'écart type.

Tableau 2. Effet de l'interaction entre le type de veau et le type d'emballage sur la population de *Brochothrix thermosphacta*, tout autre traitement confondu.

Type d'emballage	Population de <i>B. thermosphacta</i> (log CFU/g de viande)	
	Veau de grain	Veau de lait
CO ₂	2,21 ^a	0,91 ^a
sous-vide	3,45 ^b	3,31 ^b

^{a, b} Les moyennes d'une colonne ayant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil 5%

2.1.3 Bactéries lactiques

La viande de veau de lait a une moyenne significativement moins élevée que celle du veau de grain ($p=0,0009$) et leur croissance se stabilise après 40 jours de conservation ($p<0,0001$) (figure 2c). Les échantillons de viande emballés sous-vide et sous CO₂ ne présentent pas de différences significatives au seuil 5 % (figure 3c). Les journées tablette forment trois groupes significativement différents ($p<0,05$): les journées 0, 1 et 2 sont significativement différentes des journées 2 et 3 qui elles-mêmes sont différentes des journées 4 et 5 (figure 4c). Une croissance est notable durant la vie de tablette du groupe témoin alors qu'elle est pratiquement nulle après une durée de conservation de 35 jours ($p<0,05$) (figure 4c).

2.1.4 Bactéries anaérobies

La flore bactérienne anaérobie de la viande de veau de grain est plus développée que celle du veau de lait ($p<0,0001$) et leur croissance est lente mais significativement progressive ($p<0,0001$) (figure 2d). La viande emballée sous CO₂ présente moins de bactéries que celle emballée sous-vide ($p=0,0012$) (figure 3d). Les journées tablette peuvent être divisées en deux groupes significativement différents ($p<0,0001$) ; 0, 1, 2 et 3, 4, 5 (figure 4d).

2.1.5 Entérobactéries

Il y a une interaction entre le type de veau et le type d'emballage utilisé ($p=0,0044$). La viande de veau de grain ne présente pas beaucoup moins de bactéries que celle de veau de lait lorsqu'elle est conservée sous-vide tandis qu'elle en présente, au contraire, nettement plus lorsque conservée sous CO_2 (tableau 3).

Tableau 3. Effet de l'interaction entre le type de veau et le type d'emballage sur la population des entérobactéries, tout autre traitement confondu.

Type d'emballage	Population des entérobactéries (log CFU/g de viande)	
	Veau de grain	Veau de lait
CO_2	1,82 ^a	0,80 ^a
sous-vide	2,90 ^b	2,95 ^b

^{a, b} Les moyennes d'une colonne ayant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil 5%

La figure 2e montre qu'à part le groupe témoin, ou le veau de lait présente moins d'entérobactéries que le veau de grain ($p=0,0018$), il ne semble pas y avoir de différences entre les échantillons conservés 35 jours ou plus. Le nombre de bactéries augmente durant la conservation pour la viande emballée sous-vide alors que ce nombre diminue pour celle emballée sous CO_2 ($p=0,002$) (figure 3e). Les journées tablette 0, 1 et 2 présentent des moyennes significativement moins élevées que les journées 3, 4 et 5 ($p<0,0001$) (figure 4e). L'interaction entre le temps tablette et le temps de conservation ($p<0,0001$) est due à l'augmentation importante du nombre d'entérobactéries durant la vie de tablette du groupe témoin comparativement à la viande conservée 35 jours ou plus (figure 4e).

2.1.6 *Pseudomonas*

Le groupe témoin de la viande de veau de grain présente plus de bactéries que celui du veau de lait, mais les populations se stabilisent après une durée de conservation de 35 jours ou plus. Il y a une augmentation du nombre de *Pseudomonas* lors d'une conservation sous-vide alors qu'il y a une diminution de ce nombre lors d'une conservation sous CO₂ ($p < 0,0001$) (figure 3f). Les journées tablette peuvent être dissociées en deux groupes significativement différents : 0, 1 et 2 qui présentent moins de bactéries que 3, 4 et 5 ($p = 0,0002$) (figure 4f). La figure 4f démontre une croissance bactérienne durant la vie de tablette du groupe témoin alors qu'après une conservation de 35 jours, la population bactérienne demeure stable ($p < 0,0001$). Enfin, il y a une interaction entre les facteurs type de veau et type d'emballage ($p < 0,0001$). La viande de veau de grain présente moins de bactéries que celle de veau de lait pour un emballage sous-vide alors qu'elle en présente nettement plus pour un emballage sous CO₂ (tableau 4).

Tableau 4. Effet de l'interaction entre le type de veau et le type d'emballage sur la population de *Pseudomonas*, tout autre traitement confondu.

Type d'emballage	Population de <i>Pseudomonas</i> (log CFU/g de viande)	
	Veau de grain	Veau de lait
CO ₂	1,63 ^a	0,76 ^a
sous-vide	2,74 ^b	3,10 ^b

^{a, b} Les moyennes d'une colonne ayant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil 5%

2.2 Physico-chimie

2.2.1 Composition

La composition en eau, en gras et en protéines est différente chez les deux types de veau. Le veau de lait contient significativement plus d'eau ($p=0,02$) et de gras ($p=0,0001$) que le veau de grain. Par contre, ce dernier contient plus de protéines ($p<0,05$) (tableau 5).

Tableau 5. Comparaison de la composition en eau, en gras et en protéines du veau de grain et du veau de lait.

Composante	Composition (% p/p)					
	Veau de grain			Veau de lait		
	\bar{x} ¹	\pm	ET ²	\bar{x}	\pm	ET
Eau	76,47 ^a		0,49	77,43 ^b		1,05
Gras	0,42 ^a		0,06	0,99 ^b		0,14
Protéines	22,42 ^a		0,65	21,22 ^b		0,91

¹ Moyennes des pourcentages

² Ecart type

^{a, b} Les moyennes d'une même ligne ayant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil 5%

2.2.2 pH

L'analyse de variance des mesures de pH a révélé des interactions significatives entre : le type de veau et le type d'emballage, le type d'emballage et le temps de conservation et, entre le temps de conservation et le temps tablette. Les résultats présentés au tableau 6 indiquent que le pH de la viande de veau de lait est plus affecté par l'emballage sous-vide que celle de

veau de grain ($p < 0,0014$). Cette différence est toutefois d'une faible amplitude. La baisse de pH durant la conservation était beaucoup plus importante pour la viande emballée sous-vide que celle emballée sous CO_2 ($p < 0,0001$) (figure 5). La figure 6 indique qu'au jour 0, le pH des différents types de veau était le même quel que soit le temps tablette alors qu'après 35 jours de conservation ou plus, le pH présentait une légère baisse durant la vie de tablette ($p < 0,0006$).

Tableau 6. Effet de l'interaction entre le type de veau et le type d'emballage sur le pH, tout autre traitement confondu.

Type de veau	pH	
	Emballage CO_2	Emballage sous-vide
	$\bar{x}^1 \pm \text{ET}^2$	$\bar{x} \pm \text{ET}$
grain	$5,47^a \pm 0,09$	$5,42^a \pm 0,13$
lait	$5,47^a \pm 0,06$	$5,38^b \pm 0,13$

^{a, b} Les moyennes d'une colonne ayant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil 5%

¹ Moyenne de pH

² Ecart type

2.2.3 Pertes exsudatives

L'analyse de variance a permis de détecter une interaction triple entre les traitements type de veau, type d'emballage et temps de conservation et, une interaction double entre le temps de conservation et le temps tablette. L'interaction triple ($p < 0,0103$) est imputable à une augmentation plus élevée des pertes exsudatives durant la conservation pour la viande

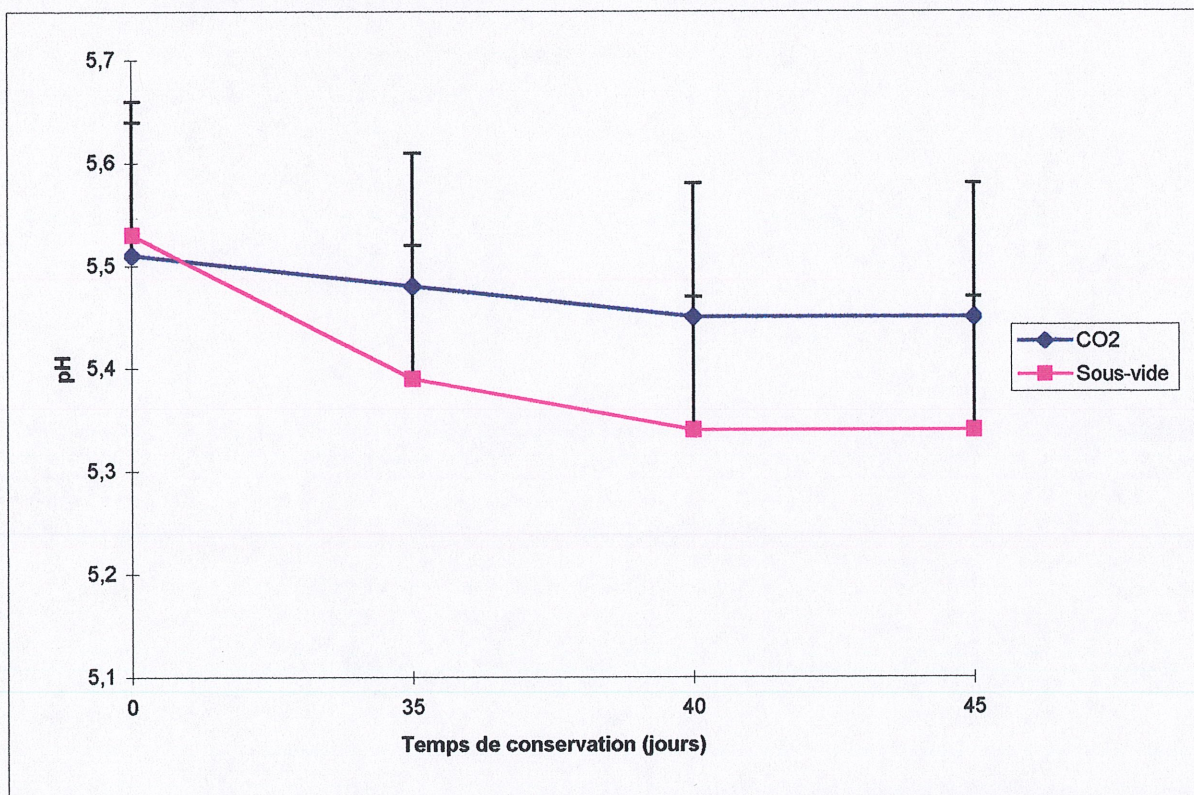


Figure 5. Effet de l'interaction entre le type d'emballage et le temps de conservation du veau sur le pH, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

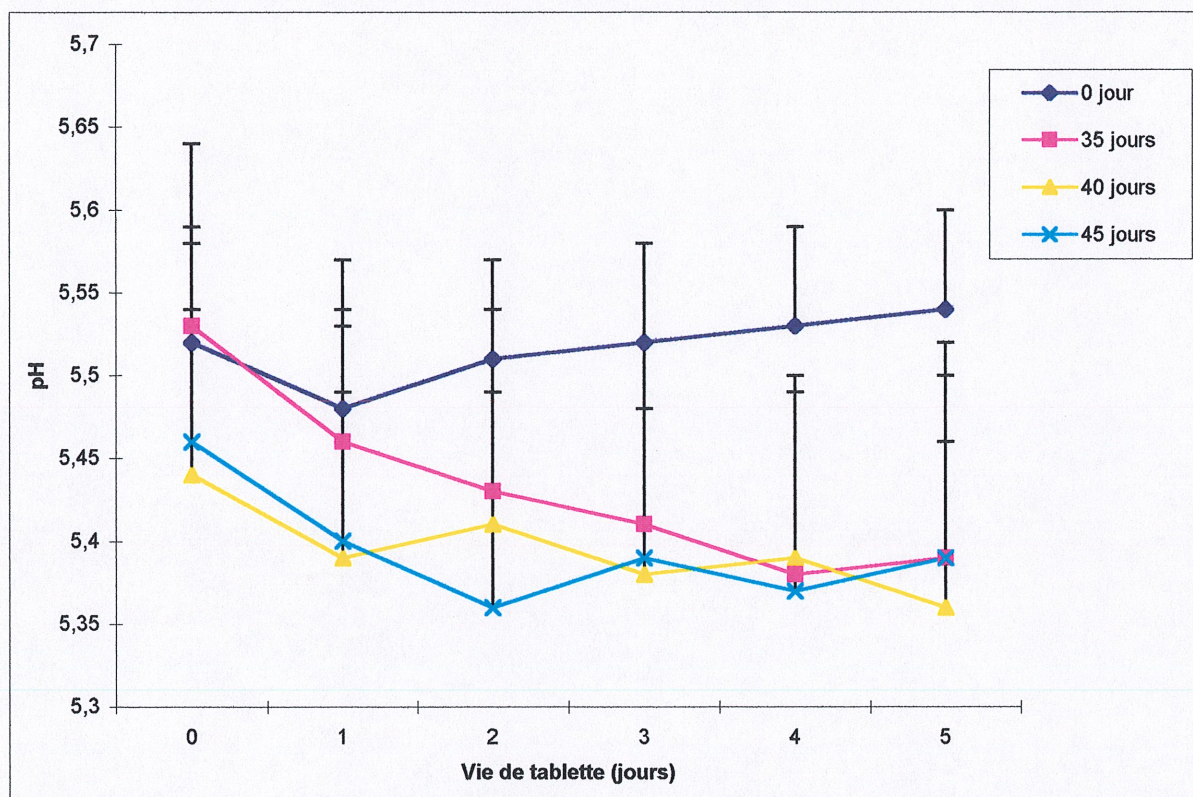


Figure 6. Comparaison de l'évolution du pH pour les temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours durant la vie de tablette (0, 1, 2, 3, 4 et 5 jours), tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

emballée sous-vide comparativement à celle emballée sous CO₂ et se manifeste plus particulièrement pour la viande de veau de lait (figure 7).

Les pourcentages de pertes exsudatives du groupe témoin augmentent continuellement durant la vie de tablette alors qu'après une durée de conservation de 35 jours, il y a une forte augmentation à la première journée tablette et une stabilisation des pertes pour les autres journées ($p < 0,0491$) (figure 8).

2.2.4 Pertes à la cuisson

Les pertes à la cuisson des deux types de veau ne furent pas significativement différentes ($\bar{x} = 14,48 \pm 2,63$ écart type) ($p > 0,05$). L'ANOVA indique par ailleurs une interaction significative entre le type d'emballage et le temps de conservation ($p < 0,021$) qui serait attribuable à une diminution des pertes enregistrées lors de la conservation sous-vide comparativement au CO₂ (figure 9).

2.2.5 Fer total

La moyenne de fer total du veau de grain est significativement plus élevée que celle du veau de lait ($p = 0,02$). Il n'y a aucun effet relié au type d'emballage ($p = 0,252$) et la teneur globale mesurée au jour 0 est significativement plus élevée qu'après 40 et 45 jours de conservation ($p = 0,04$) (figure 10).

2.2.6 Fer non-hémique

L'analyse de variance révèle un effet significatif du type d'emballage et une interaction significative entre le type de veau et le temps de conservation. La viande emballée sous CO₂ a une moyenne de fer non-hémique significativement moins élevée que celle emballée sous-

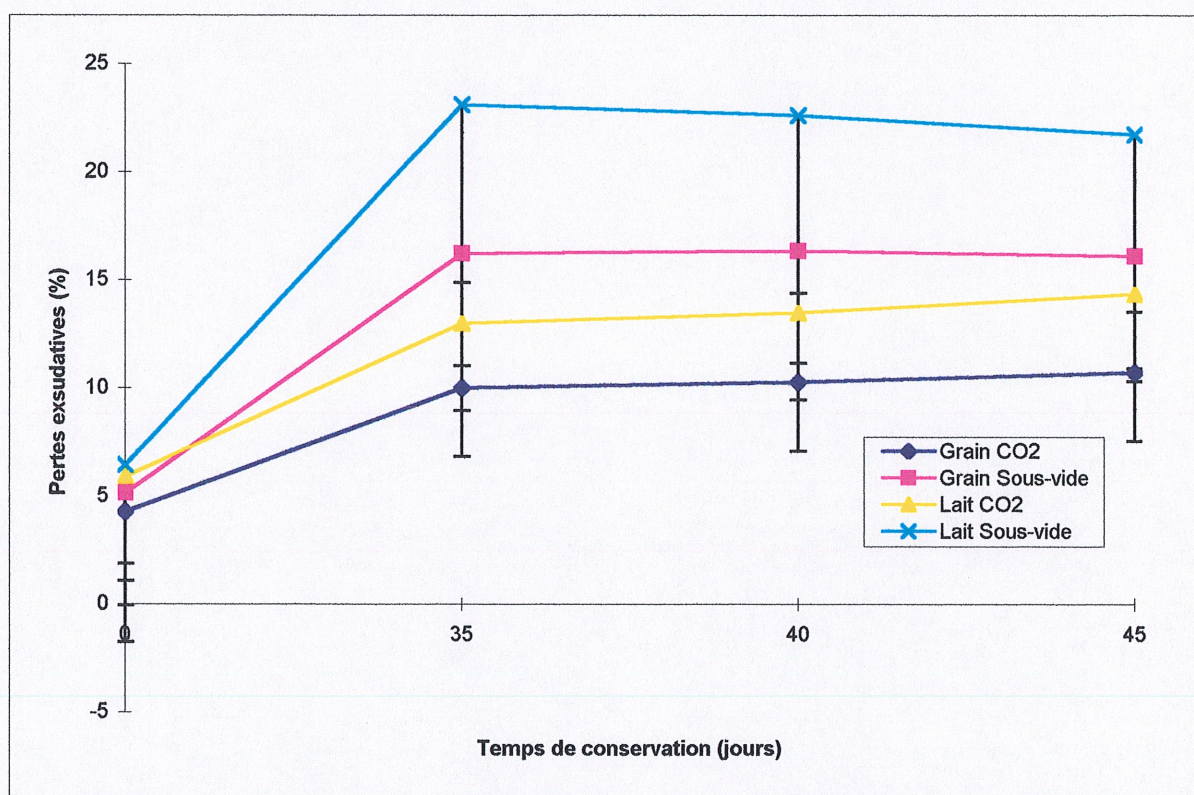


Figure 7. Comparaison de l'évolution des pertes exsudatives pour le veau de grain et le veau de lait emballés sous-vide et sous CO₂ aux temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

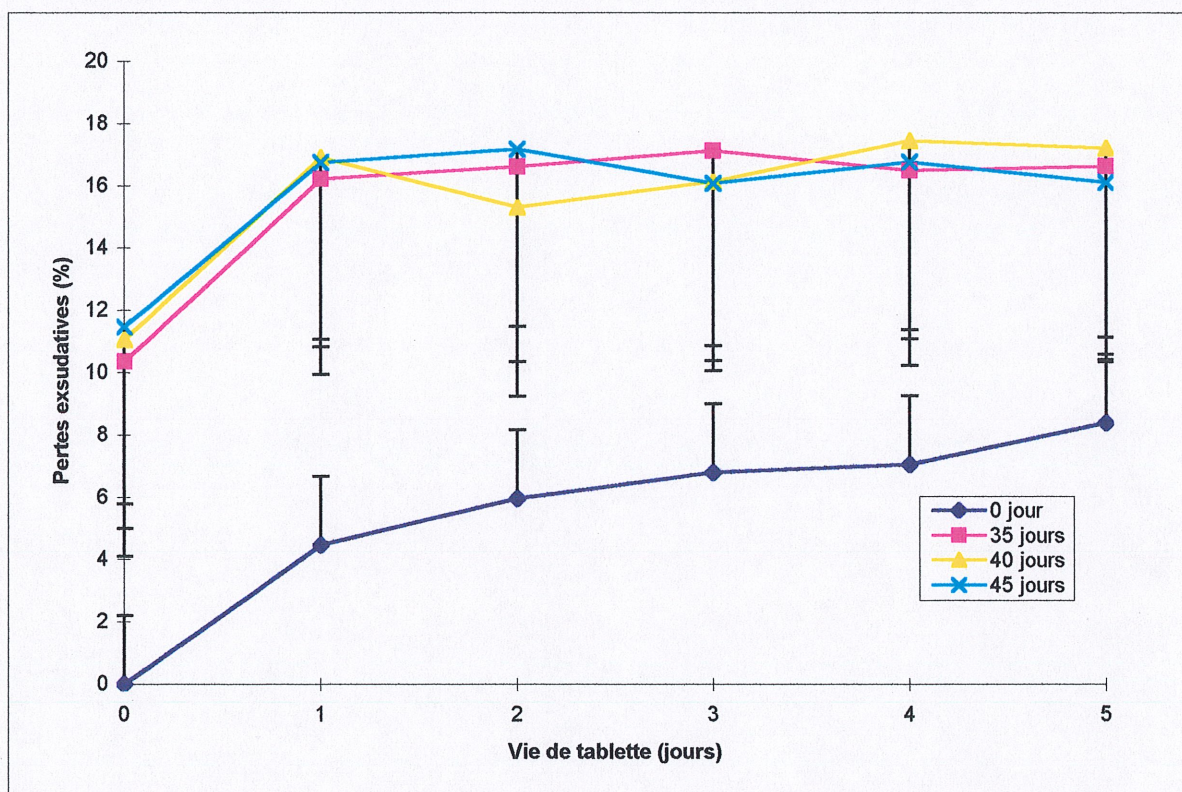


Figure 8. Comparaison de l'évolution des pertes exsudatives durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours) aux jours tablette 0, 1, 2, 3, 4 et 5, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

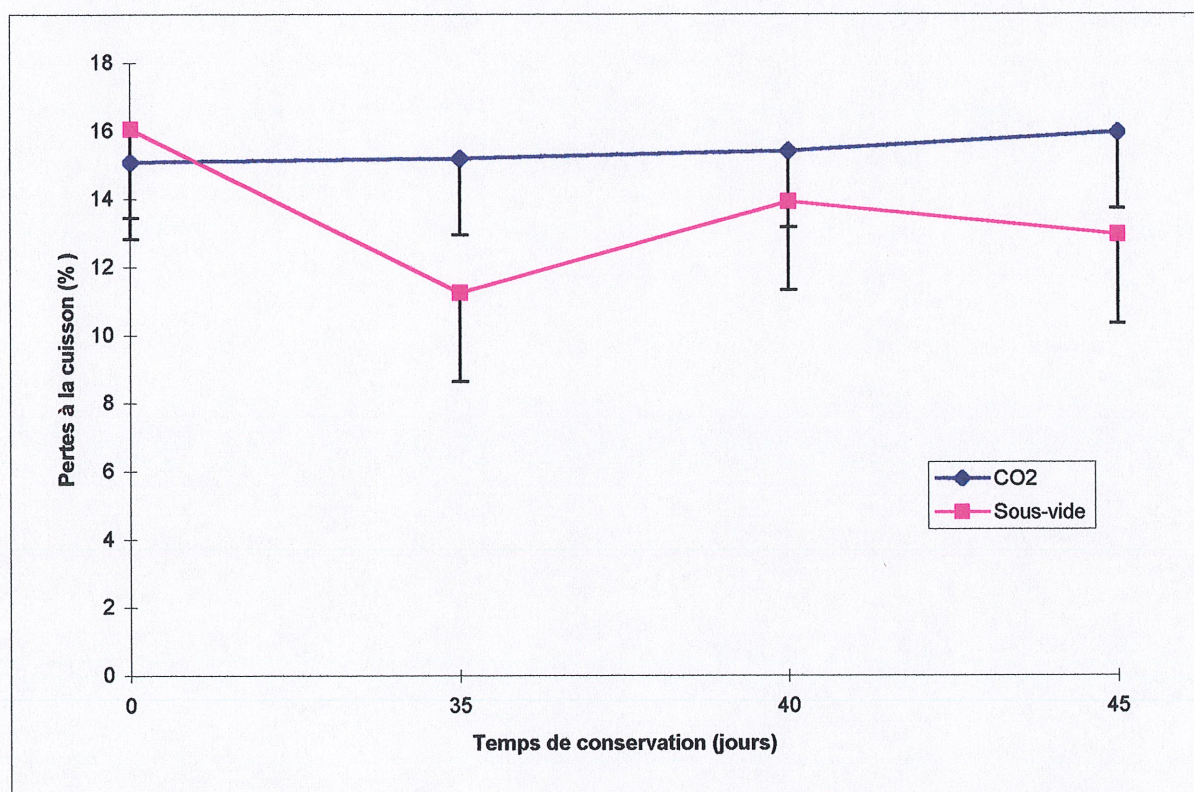


Figure 9. Effet de l'interaction entre le type d'emballage et le temps de conservation sur les pertes à la cuisson, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

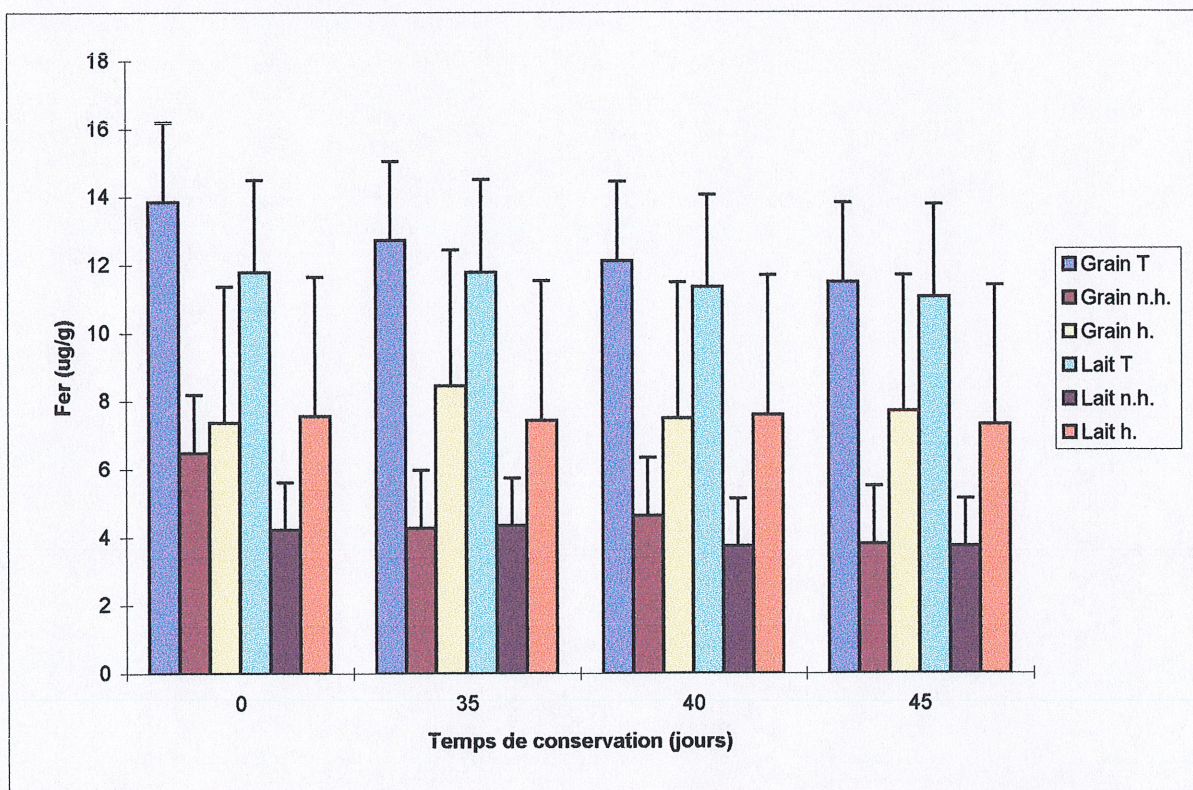


Figure 10. Evolution de la quantité de fer total, non-hémique et hémique pour le veau de grain et le veau de lait durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours), tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

vide ($p=0,02$) (tableau 7). Les moyennes de fer non-hémique du veau de grain sont plus élevées que celle du veau de lait durant la conservation, sauf après 35 jours ($p=0,018$) (figure 10).

2.2.7 Rancidité

Les résultats des valeurs TBA sont présentés à la figure 11. Globalement, le veau de grain présente une valeur TBA moyenne plus élevée que le veau de lait ($p<0,017$), alors que l'emballage sous-vide engendre des valeurs TBA significativement plus élevées que celui sous CO_2 ($p<0,012$). L'effet du temps de conservation est par ailleurs inusité puisque c'est après 35 jours que les plus hautes valeurs TBA ont été observées, pour ensuite redescendre après 40 et 45 jours de conservation ($p<0,0005$). Il n'y a aucune interaction significative entre les traitements ($p>0,05$).

Tableau 7. Teneur en fer non-hémique pour le type d'emballage, tout autre traitement confondu.

Type d'emballage	Fer non-hémique ($\mu\text{g/g}$ de viande)		
	\bar{x} ¹	\pm	ET ²
CO_2	4,09 ^a		1,58
Sous-vide	4,74 ^b		1,97

¹ Moyenne de fer non-hémique

² Ecart type

^{a, b} Les moyennes d'un facteur ayant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil 5%

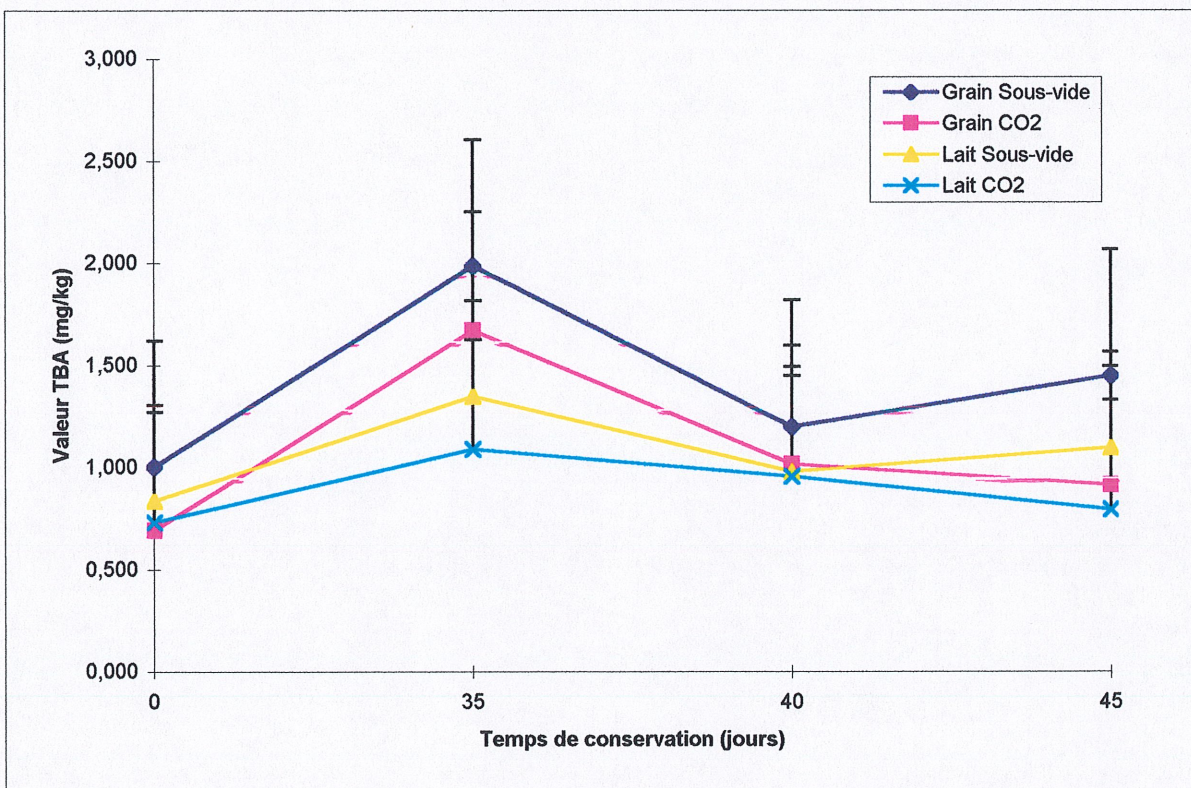


Figure 11. Evolution des valeurs TBA durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours) pour les deux types de veau emballés sous-vide et sous CO₂. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

2.2.8 Couleur

2.2.8.1 Paramètre L*

L'ANOVA indique un effet du type de veau, du temps de conservation et du temps tablette. Aucune interaction significative n'a été décelée. Les résultats sont présentés à la figure 12.

La moyenne du paramètre L* du veau de lait est significativement plus élevée ($p < 0,0001$) que celle du veau de grain. Le paramètre L* est significativement moins élevé au jour 0 comparativement à 35, 40 et 45 jours de conservation ($p < 0,0001$) et la moyenne du temps tablette 0 jour est significativement moins élevée ($p < 0,0001$) que les autres journées tablette.

2.2.8.2 Paramètre a*

L'analyse de variance a révélé des interactions significatives entre le type de veau et le type d'emballage, le type de veau et le temps de conservation, le type d'emballage et le temps de conservation, le type de veau et le temps tablette ainsi que le temps de conservation et le temps tablette. Les résultats de la figure 13 indiquent que la conservation sous-vide affecte plus le paramètre a* que celle sous CO₂ et, que ce fait est plus marqué chez le veau de grain ($p < 0,011$). La figure 14 indique une perte plus importante de la couleur rouge du veau de grain après 35 jours ou plus de conservation comparativement au veau de lait ($p < 0,003$). La perte de la couleur rouge du veau de grain durant la conservation tablette est plus importante comparativement à celle du veau de lait ($p < 0,011$) (figure 14, 18 et 19). La figure 14 présente aussi l'interaction entre le temps de conservation et le temps tablette ($p < 0,0001$). Le paramètre a* a tendance à augmenter durant la vie tablette pour le groupe témoin alors qu'après 35 jours de conservation, le paramètre a* a plutôt tendance à diminuer.

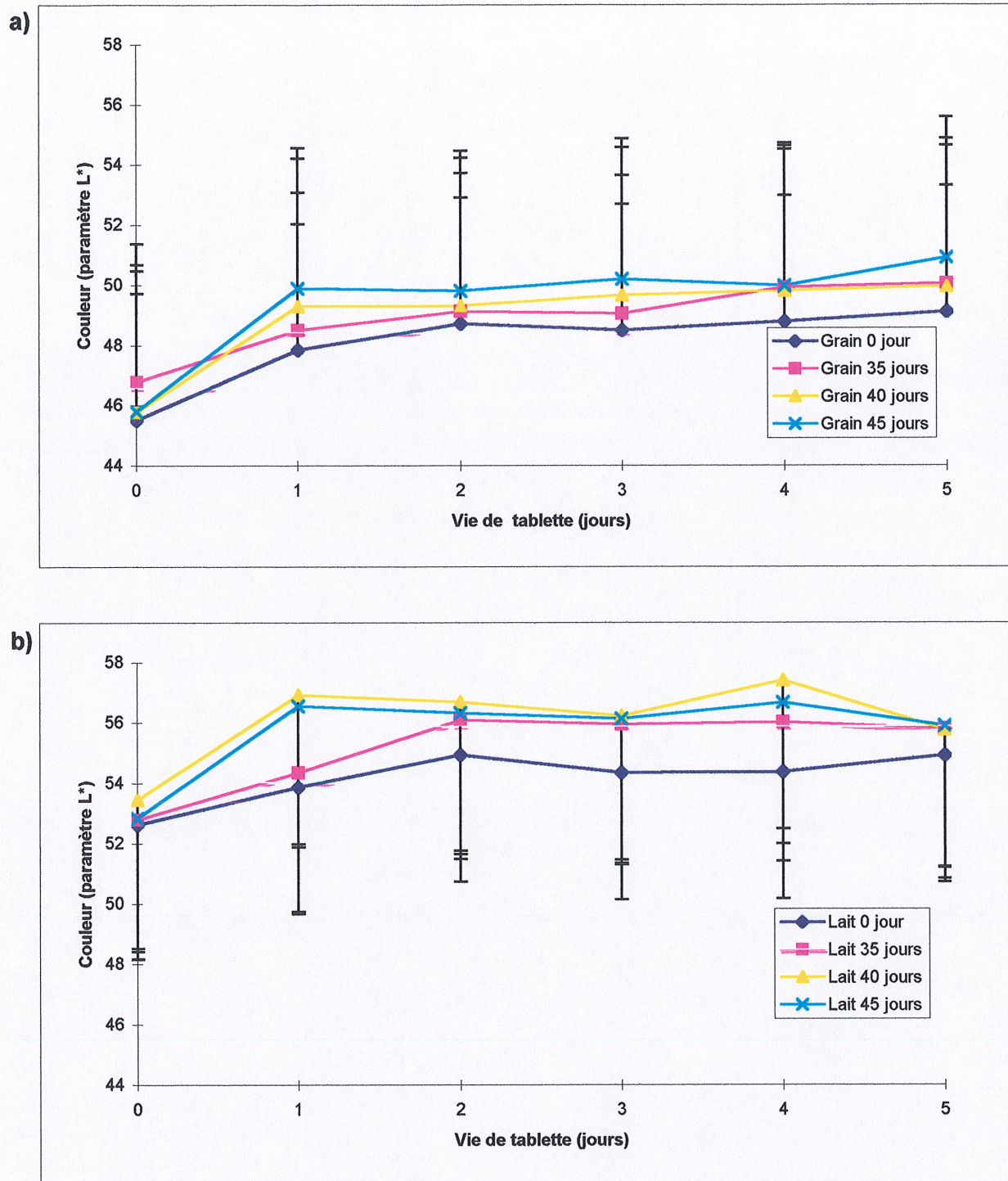


Figure 12. Evolution de la couleur (paramètre L*): a) du veau de grain et b) du veau de lait durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours) aux jours tablette 0, 1, 2, 3, 4 et 5, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

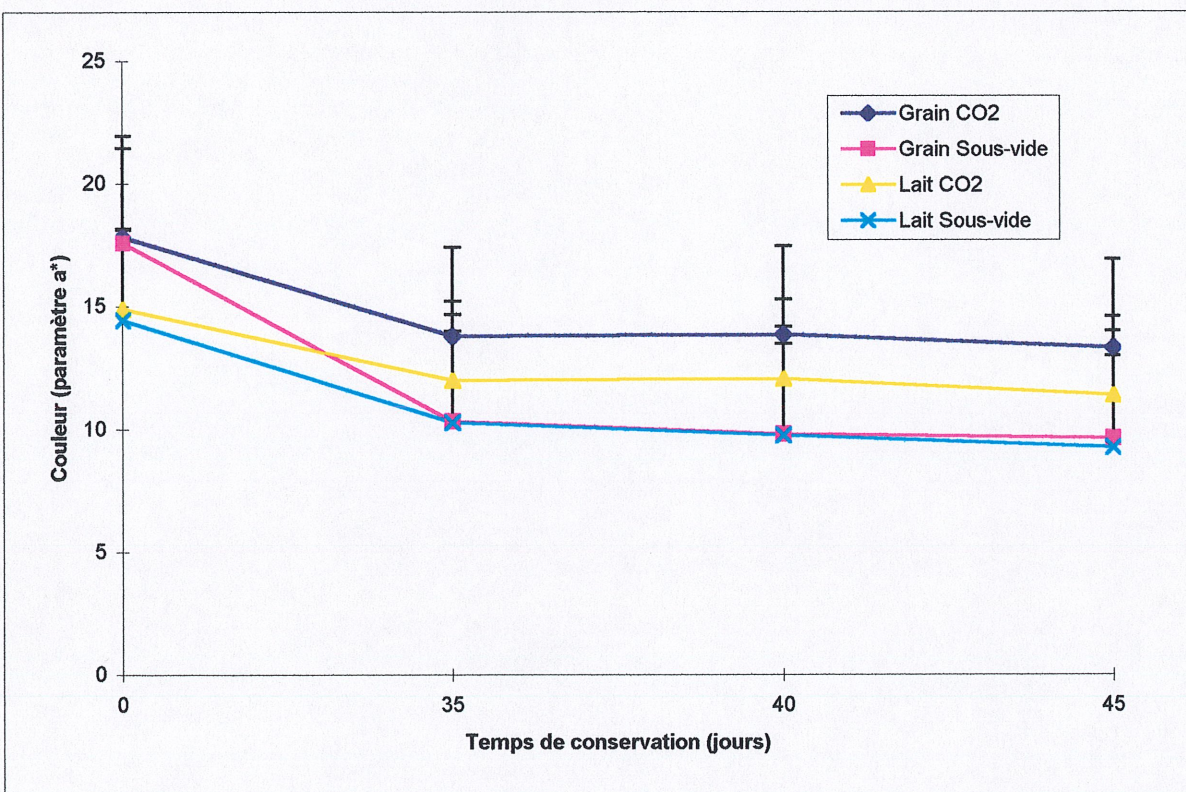


Figure 13. Evolution de la couleur (paramètre a^*) pour le veau de grain et le veau de lait emballés sous-vide et sous CO₂ aux temps de conservation 0, 35, 40 et 45 jours, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

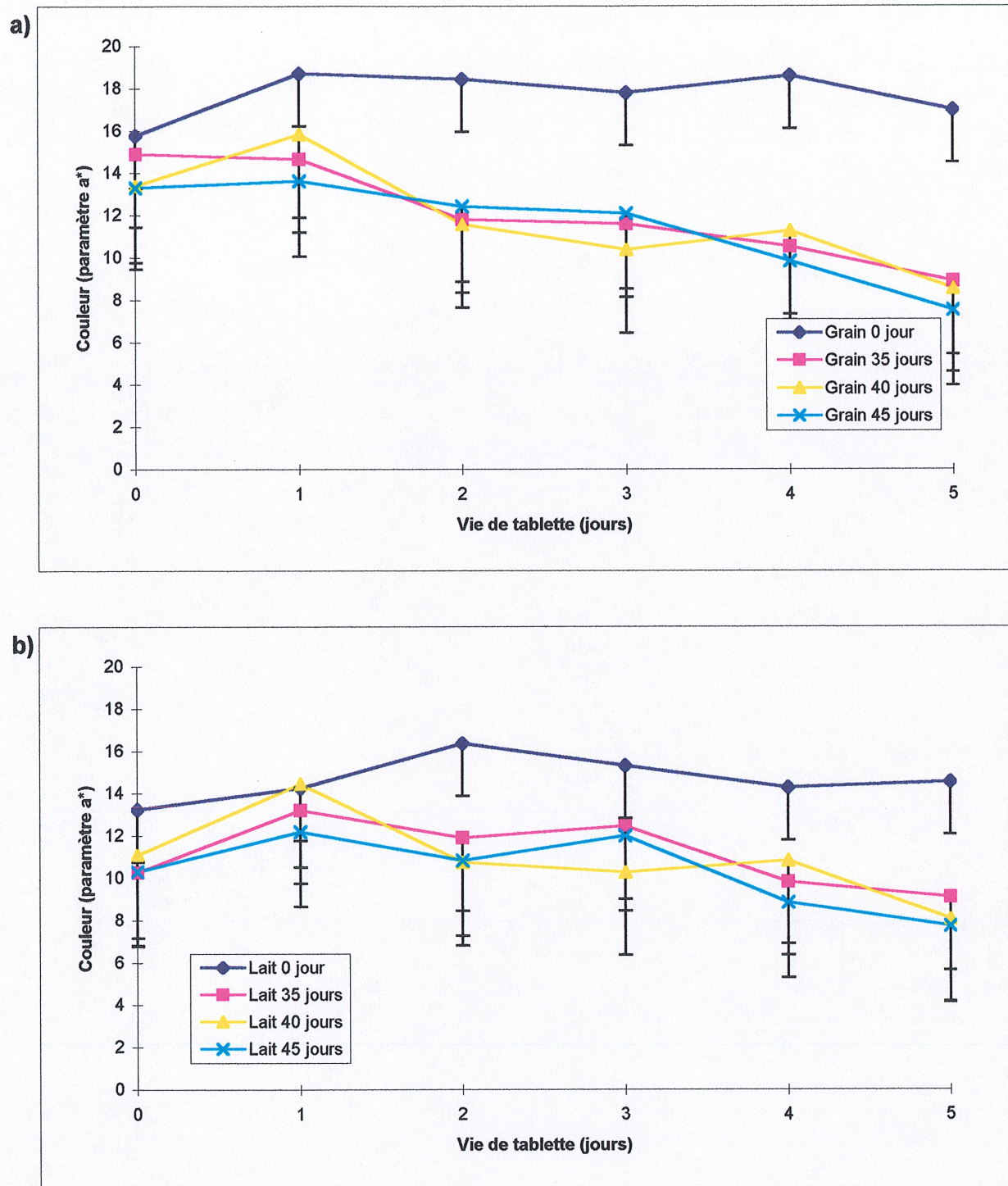


Figure 14. Evolution de la couleur (paramètre a^*): a) du veau de grain et b) du veau de lait durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours) aux jours tablette 0, 1, 2, 3, 4 et 5, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

2.2.8.3 Paramètre b*

L'ANOVA indique une interaction double entre le type de veau et le type d'emballage, ainsi qu'une interaction triple entre le type de veau, le temps de conservation et le temps tablette. Les résultats présentés au tableau 8 démontrent que l'écart entre les deux types de veau est plus élevé pour l'emballage sous-vide comparativement au CO₂ (p<0,008). Les écarts observés sont toutefois de faible amplitude.

Tableau 8. Effet de l'interaction entre le type de veau et le type d'emballage sur le paramètre b*, tout autre traitement confondu.

Type d'emballage	Couleur (b*)		(Δ b*) ^a
	Veau de grain	Veau de lait	
	$\bar{x}^1 \pm ET^2$	$\bar{x} \pm ET$	
CO ₂	18,66 ^b ± 1,93 ^d	19,80 ^b ± 2,45	1,14 ^b
sous-vide	18,04 ^b ± 1,96	20,11 ^b ± 2,78	2,07 ^c

^a Différence entre les valeurs de couleur b* du veau de grain et du veau de lait

^{b, c} Les moyennes d'une colonne ayant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil 5%

¹ Moyenne du paramètre b*

² Ecart type

La figure 15 illustre l'interaction triple entre les traitements type de veau, temps de conservation et temps tablette (p<0,0001). Le paramètre b* a tendance à diminuer avec le temps pour le veau de grain alors que c'est l'inverse pour le veau de lait. L'interaction entre le temps de conservation et le temps tablette relève du fait que le paramètre b* a tendance à augmenter durant la conservation de tablette des échantillons du groupe témoin alors

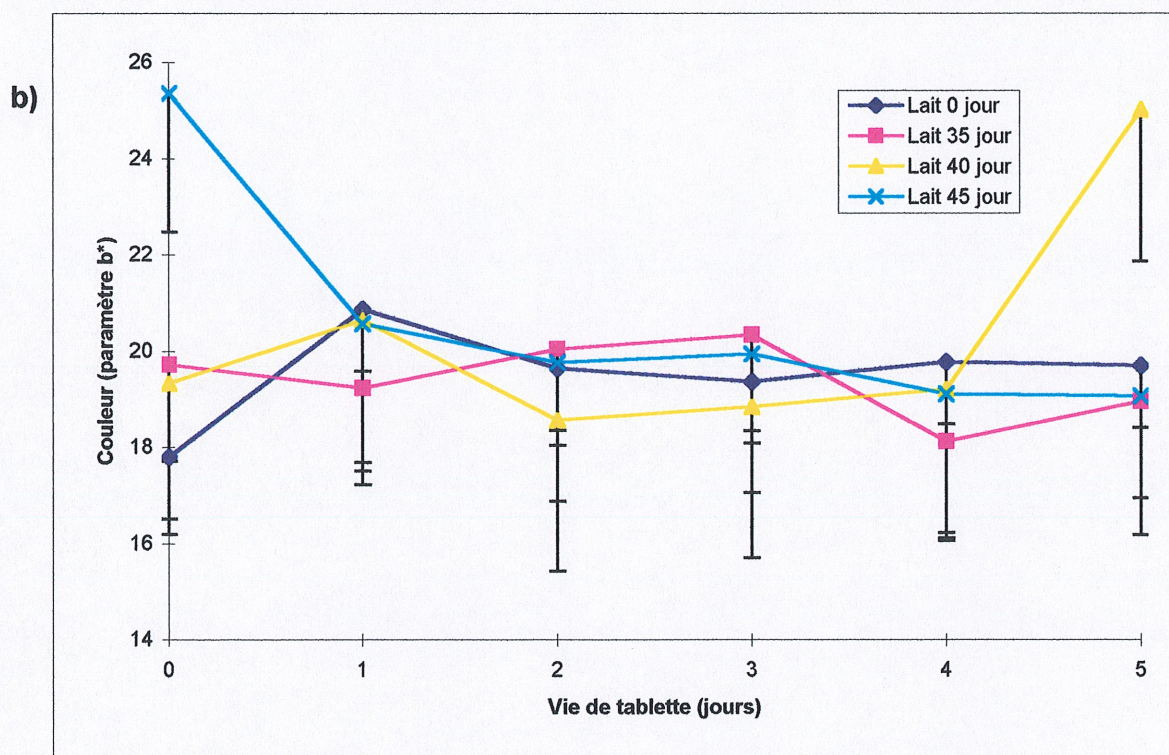
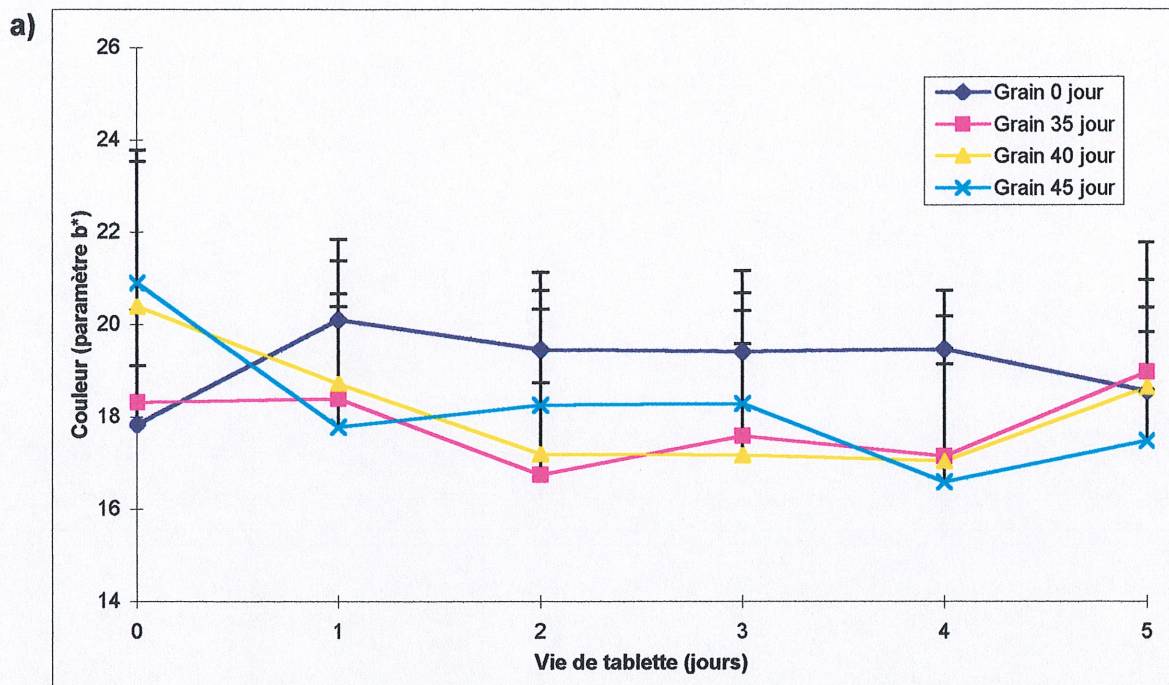


Figure 15. Evolution de la couleur (paramètre b^*): a) du veau de grain et b) du veau de lait durant la conservation (0, 35, 40 et 45 jours) aux jours tablette 0, 1, 2, 3, 4 et 5, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

qu'après 35 jours de conservation, le paramètre b^* a plutôt tendance à diminuer. L'interaction triple est imputable à l'augmentation du paramètre b^* durant la vie de tablette après 40 jours de conservation pour le veau de lait et la diminution pour le veau de grain. Bien que significatives, ces interactions sont de faible amplitude.

2.2.8.4 Teinte

L'analyse de variance a révélé des interactions significatives entre le type d'emballage et le temps de conservation, le temps de conservation et le temps tablette ainsi que le type de veau et le temps tablette. Les résultats de la figure 16a indiquent que la conservation sous-vide affecte plus la coloration de la viande que celle sous CO_2 ($p < 0,0001$). La figure 16b démontrent la stabilité de la couleur des groupes témoin comparativement à la viande conservée 35 jours ou plus ($p < 0,0001$) et les résultats de la figure 16c indiquent une décoloration plus importante de la viande de veau de grain durant la vie de tablette ($p < 0,0001$).

2.2.8.5 Saturation

L'ANOVA indique interaction triple entre le type de veau, le temps de conservation et le temps tablette. Les résultats présentés à la figure 17 démontrent que la différence entre les groupes témoins et ceux conservés 35 jours ou plus est plus marquée pour la viande de veau de grain et que la saturation de celle-ci est plus affectée durant la vie de tablette ($p < 0,0019$).

2.2.9 Tendreté

L'analyse de variance a décelé des effets simples pour le type de veau et le type d'emballage. Le veau de lait était plus tendre que le veau de grain ($p = 0,0001$), la viande emballée sous

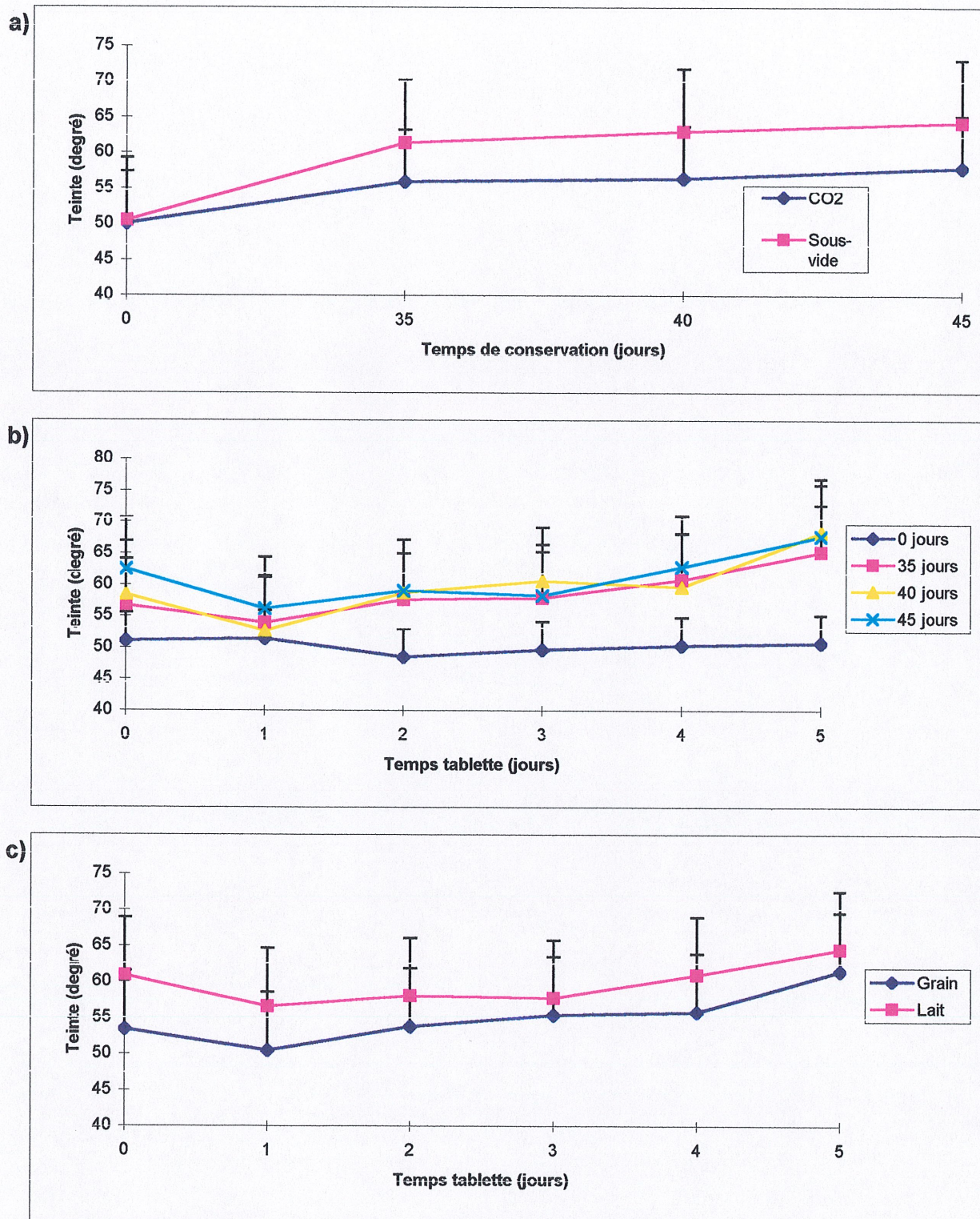


Figure 16. Evolution de la teinte a) pour le type d'emballage durant la conservation b) durant la vie de tablette avant et après conservation (35, 40 et 45 jours) et c) durant la vie de tablette pour chaque type de veau, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

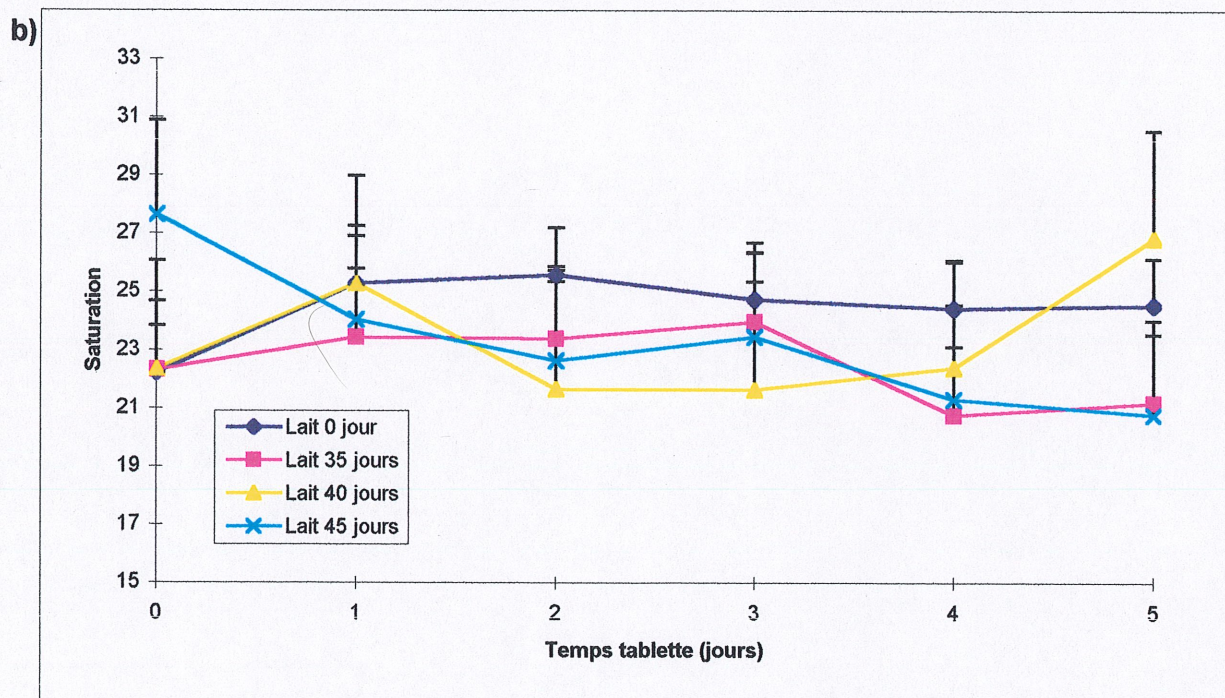
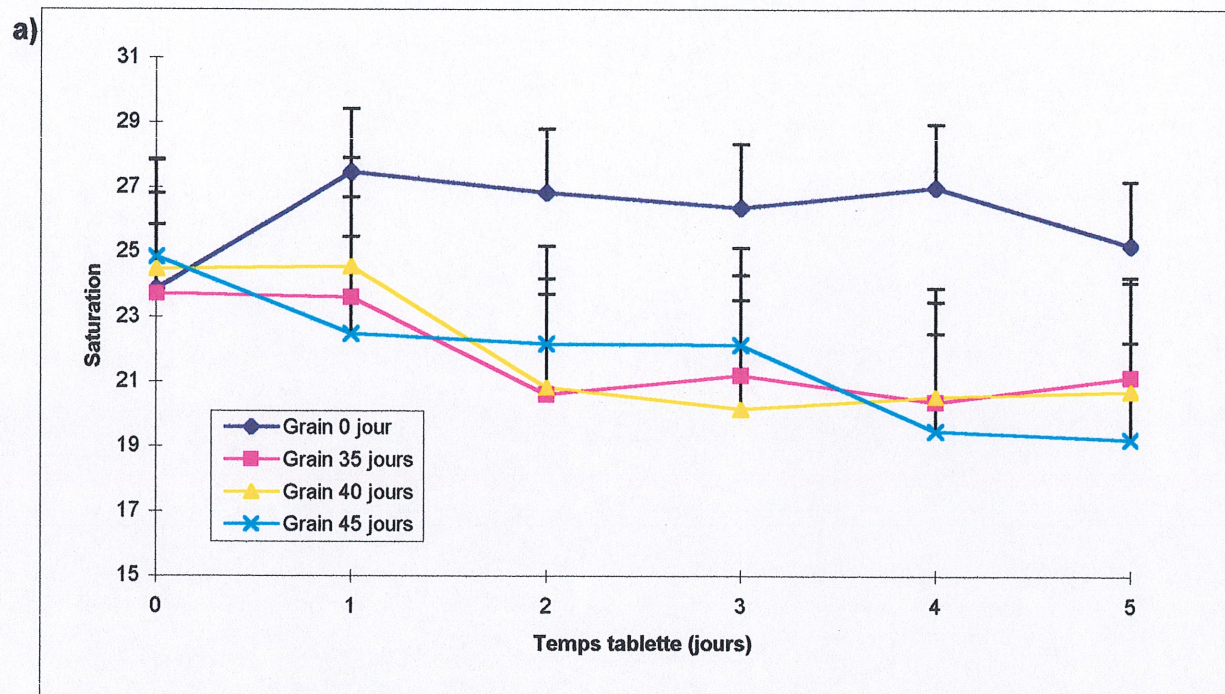


Figure 17. Evolution de la saturation pour a) le veau de grain et b) le veau de lait durant la vie de tablette après des périodes de conservation de 35, 40 et 45 jours, tout autre traitement confondu. Les barres d'erreur représentent l'écart type.

CO₂ était plus tendre que celle emballée sous-vide (p=0,012) et le temps de conservation n'a pas eu d'effet sur les forces de cisaillement (p>0,05) (tableau 9).

Tableau 9. Valeurs des forces de cisaillement pour le type de veau, le type d'emballage et le temps de conservation, tout autre traitement confondu.

Traitement	Forces de cisaillement (kg)		
	\bar{x} ¹	\pm	ET ²
Veau de grain	4,96 ^a		1,14
Veau de lait	3,90 ^b		0,97
Emballage CO ₂	4,11 ^a		1,16
Emballage sous-vide	4,73 ^b		1,12
Conservation 0 jour	4,43 ^a		1,46
Conservation 35 jours	4,24 ^a		1,13
Conservation 40 jours	4,52 ^a		1,01
Conservation 45 jours	4,51 ^a		1,16

¹ Moyenne des forces de cisaillement

² Ecart type

^{a, b} Les moyennes d'un facteur ayant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil 5%

2.2.10 Texture

La texture représente dans cette étude l'aspect visuel, l'apparence qu'a la viande suite à une conservation de longue durée et après la cuisson. L'évaluation de la texture a été faite par une analyse visuelle des photographies. Le but était de vérifier si le CO₂ pouvait s'accumuler dans la viande lors de la conservation et provoquer la formation de crevasses lors de la cuisson tel qu'observé par Gill et Penney (1990) et Bruce et al. (1996) pour le bœuf ainsi que

Holley et al. (1994) pour le porc. Toutes les pièces de viande ayant été conservées sous CO₂ pendant 35 jours ou plus présentent des crevasses, en nombre et en apparence variable, alors qu'aucune des pièces de viande conservées sous-vide ne présente ce phénomène (figure 20, 21 et 22). Les crevasses semblent être logées le long des fibres musculaires, probablement au niveau du pérymésium qui est la structure la plus faible de la viande cuite (Purslow, 1985). Aucune différence, en terme de nombre ou de taille de crevasse, n'a pu être décelée entre les deux types de veau et entre les temps de conservation 35, 40 et 45 jours.

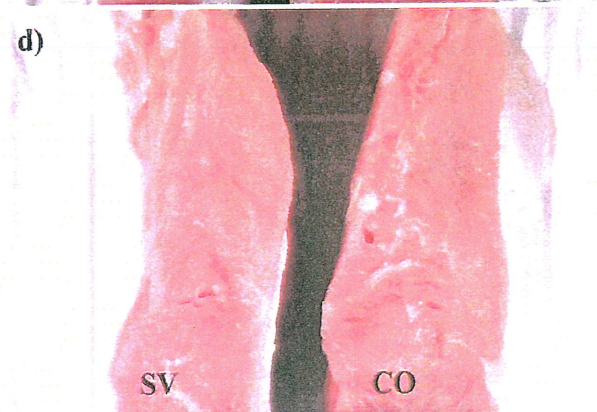
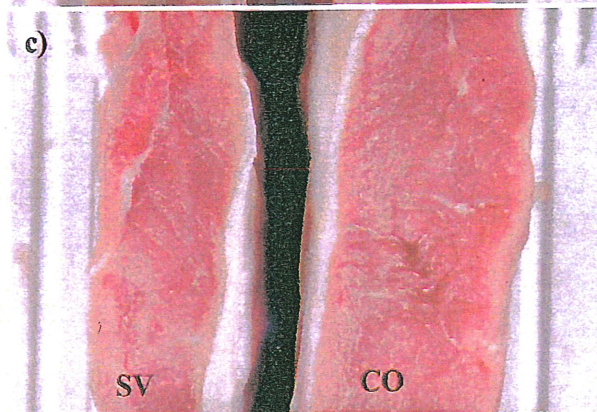
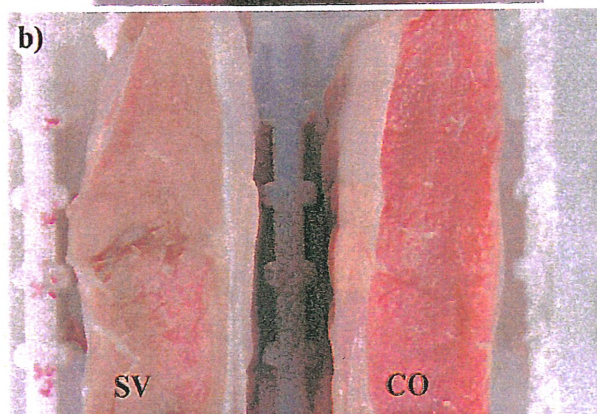
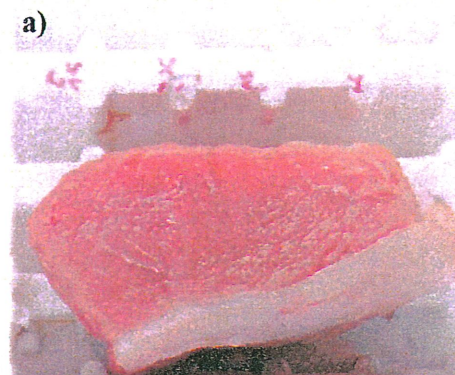


Figure 18. Evolution de la couleur de la viande de veau de lait conservée sous-vide (SV) et sous CO_2 (CO) durant: a) témoin, b) 35 jours, c) 40 jours et d) 45 jours.

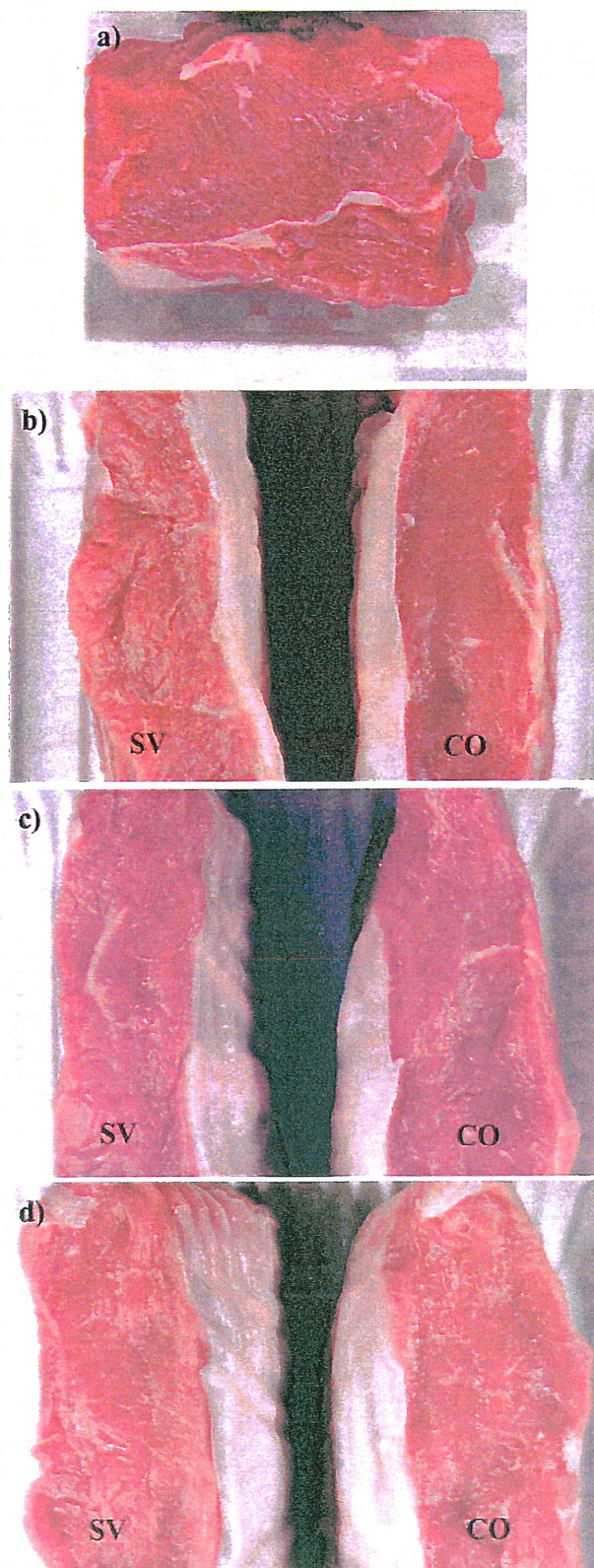


Figure 19. Evolution de la couleur de la viande de veau de grain conservée sous-vide (SV) et sous CO₂ (CO) durant: a) témoin, b) 35 jours, c) 40 jours et d) 45 jours.

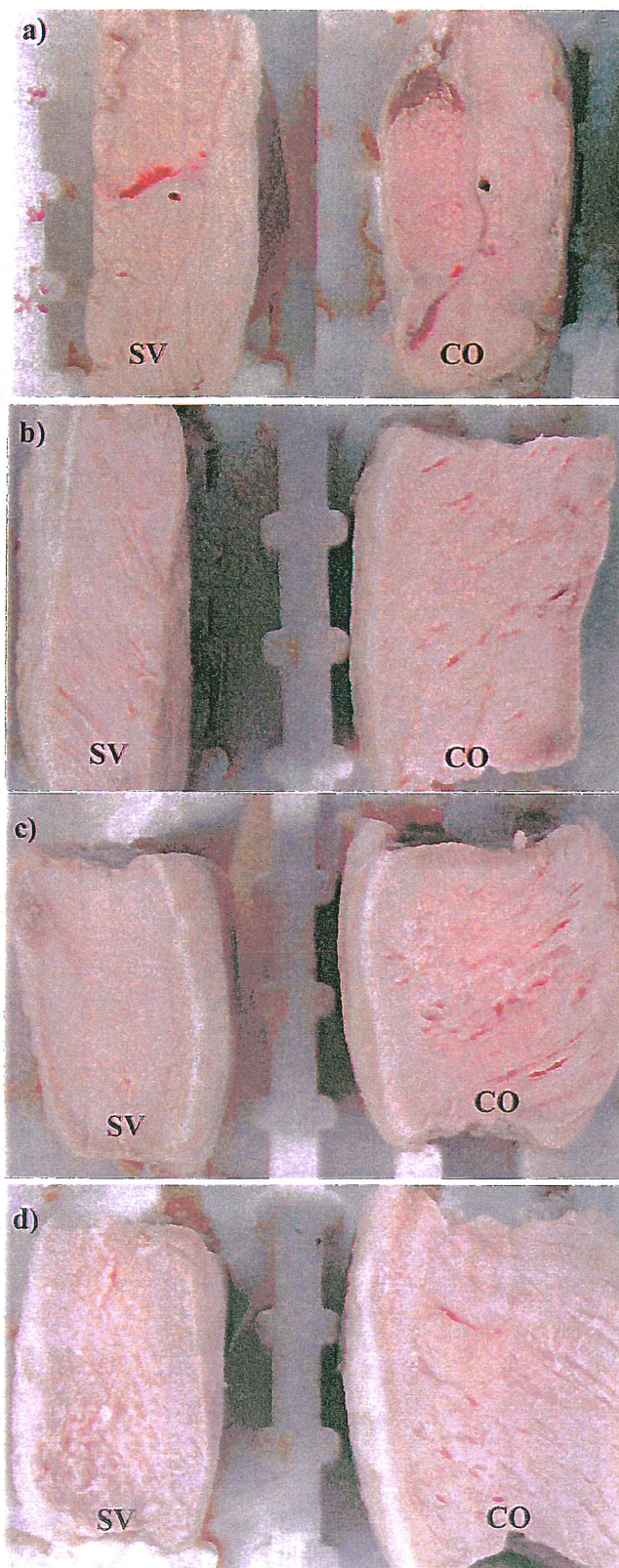
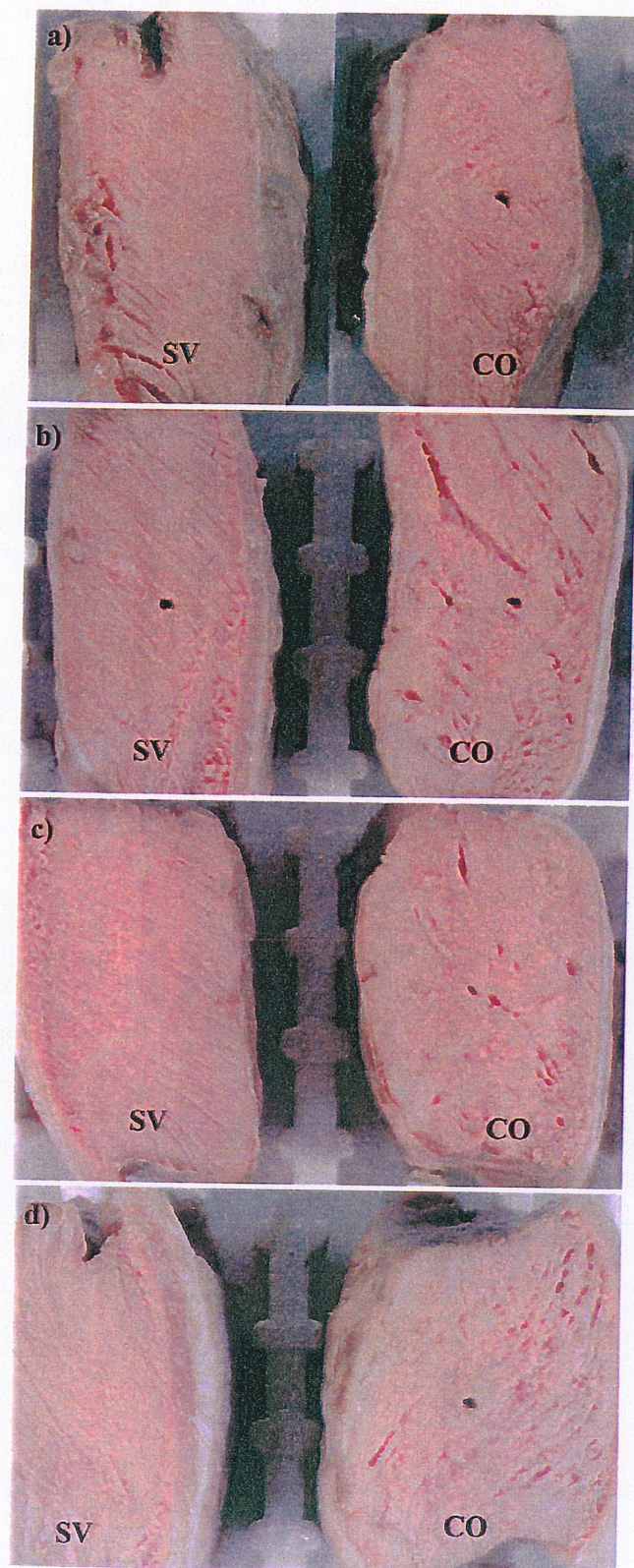


Figure 20. Effet de l'absorption du gaz dans la viande de veau de lait conservée sous CO₂ (CO) comparativement à celle conservée sous-vide (SV) durant: a) témoin, b) 35 jours, c) 40 jours et d) 45 jours.

Figure 21. Effet de l'absorption du gaz dans la viande de veau de grain conservée sous CO₂ (CO) comparativement à celle conservée sous-vide (SV) durant: a) témoin, b) 35 jours, c) 40 jours et d) 45 jours.



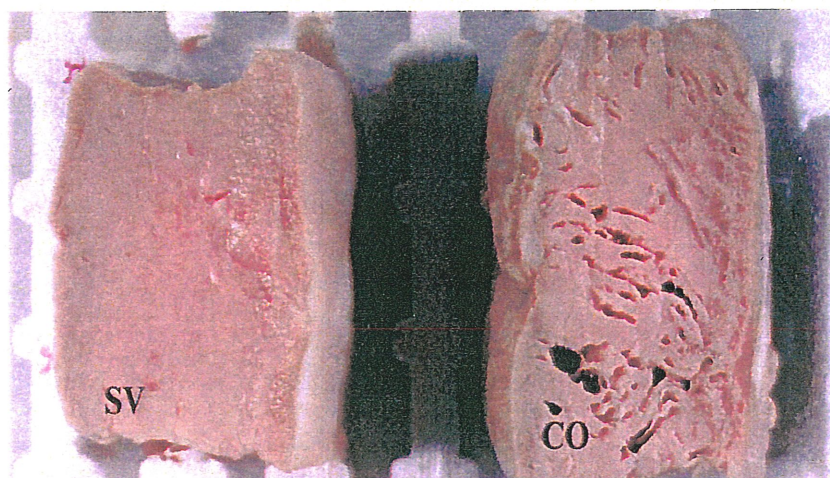


Figure 22. Exemple de la taille que peuvent atteindre les crevasses de la viande conservée 35 jours ou plus sous CO₂.

CHAPITRE 3 - DISCUSSION

3.1 Microbiologie

Le veau de grain présentait une population bactérienne plus élevée que le veau de lait et ce pour toutes les familles bactériennes (figure 2). Cette différence pourrait être imputable à une composition physico-chimique différente et/ou à des différences au niveau des manipulations ainsi que des conditions d'abattage. Les deux types de veau présentaient des compositions significativement différentes (tableau 5). Ces différences pourraient affecter l'environnement immédiat des bactéries et avoir un effet sur la dynamique de la flore bactérienne présente sur la viande. McMeekin (1975 ; 1977) a noté une différence dans la composition de la flore microbienne présente sur la viande blanche (poitrine) et la viande foncée (cuisse) du poulet. Cependant, Kakouri et Nychas (1994) n'ont observé aucune différence significative dans la composition de la flore microbienne de ces deux types de viande suite à une conservation sous différentes atmosphères. La littérature ne contient aucune information concernant cette hypothèse pour la viande de veau. De plus, la figure 2 démontre que les profils de flore bactérienne pour les deux types de veau étaient très semblables, car les proportions de chaque famille bactérienne étaient sensiblement les mêmes pour les deux types de veau. Il est plus probable que la différence des populations bactériennes ait été provoquée par une contamination plus élevée des carcasses lors du processus d'abattage chez le veau de grain que chez le veau de lait, car il existe une grande variabilité entre les plans d'abattage (Gill et al., 1996 ; Gill et al., 1998).

Plusieurs études ont fait état de l'effet négatif que peut avoir une charge bactérienne de départ élevée sur la durée de vie de la viande conservée sur de longues périodes (Nicki et al., 1993 ; McMullen et Stiles, 1991 ; Huffman, 1974). En assumant que les charges bactériennes de départ des deux types de veau étaient différentes à cause des processus d'abattage, donc en traitant les deux types de veau comme étant deux charges de départ différentes, les résultats

présentés aux tableaux 2, 3 et 4 pour les *Brochothrix thermosphacta*, les entérobactéries et les *Pseudomonas* démontrent l'importance de la charge bactérienne initiale. Pour chacune de ces familles, la différence entre les populations des emballages sous-vide et sous CO₂ était moindre chez le veau de grain (charge bactérienne de départ élevée) comparativement au veau de lait (charge bactérienne de départ moins élevée). L'effet inhibiteur de l'emballage CO₂ sur les trois familles bactériennes mentionnées plus haut serait atténué par une charge microbienne de départ plus élevée.

La conservation a eu pour effet de diminuer l'écart entre les moyennes des différentes familles bactériennes présentes chez le veau de grain et le veau de lait (figure 2). Le temps de conservation aurait tendance à stabiliser les différentes familles de la flore bactérienne présente sur la viande. Cette figure permet aussi de mettre une fois de plus en évidence l'effet de la charge microbienne de départ. Les trois familles bactériennes sensibles au CO₂ (*Brochothrix*, entérobactéries et *Pseudomonas*) n'ont pas montré les mêmes tendances durant la conservation du veau de grain et du veau de lait. Elles tendaient à augmenter chez le veau de lait alors qu'elles diminuaient chez le veau de grain. L'explication serait une compétition plus forte entre les flores bactériennes présentes chez le veau de grain provoquée par une charge bactérienne de départ plus élevée qui aurait eu pour effet d'inhiber de façon plus importante la croissance des trois familles bactériennes sensibles au CO₂.

L'environnement gazeux de l'emballage sous CO₂ a un effet inhibiteur sur certaines bactéries alors que ce n'est pas le cas pour l'emballage sous-vide (Lacoste et Chatenet, 1996b). La figure 3 montre les effets que peuvent avoir les deux types d'emballage sur les familles bactériennes. Trois familles présentaient une forte différence entre les deux types d'emballages ; les *Brochothrix thermosphacta*, les entérobactéries et les *Pseudomonas*. Le CO₂ exerce donc un effet inhibiteur puisqu'il y a eu une diminution du nombre de bactéries durant la conservation alors qu'une augmentation a été observée pour l'emballage sous-vide.

Les opinions concernant l'emballage sous CO₂ versus *Brochothrix thermosphacta* sont partagées. Certains auteurs croient que c'est le CO₂ qui a un effet inhibiteur sur les *Brochothrix* (Molin, 1983) alors que d'autres attribuent la baisse du nombre de *Brochothrix* à l'acidification causée par la forte croissance des *Lactobacillus* (Sutherland et al., 1977). Les résultats de la présente étude appuient l'hypothèse de l'effet inhibiteur du CO₂, car la croissance des *Lactobacillus* était la même pour les deux types d'emballage ($p > 0,05$). L'acidification de la surface de la viande ne peut donc pas expliquer la différence du nombre de *Brochothrix thermosphacta* entre les deux types d'emballage et l'absence d'oxygène dans l'emballage sous CO₂ non plus, puisque les *Brochothrix thermosphacta* sont des bactéries anaérobies facultatives. L'effet inhibiteur du CO₂ sur les Entérobactéries est lui aussi reconnu par plusieurs auteurs (Gill et Harrison, 1989 ; Clark et Lentz, 1969), et l'absence d'oxygène dans l'emballage sous CO₂ ne peut être tenue responsable de la différence entre les deux types d'emballage puisque les entérobactéries sont des bactéries anaérobies facultatives. L'inhibition de l'emballage sous CO₂ observée sur le développement des *Pseudomonas* peut être attribuée à l'effet du CO₂ et à l'anoxie de l'emballage car ces bactéries sont des aérobies strictes (Gill et Tan, 1980 ; Daniels et al., 1985).

L'effet des types d'emballage était beaucoup moins marqué durant la conservation sur les trois autres familles bactériennes (bactéries aérobies, lactiques et anaérobies). Le nombre de bactéries lactiques n'était pas significativement différent entre les deux types d'emballage ($p > 0,05$). Le CO₂ n'a donc pas eu d'effet inhibiteur sur cette famille bactérienne. Ces résultats sont en accord avec diverses autres études (Newton et Gill, 1978 ; Stiles, 1994 ; McMullen et Stiles, 1993). La croissance des bactéries aérobies a été affectée par l'emballage sous CO₂ comparativement à l'emballage sous-vide (figure 3). La différence ($\sim \frac{1}{2}$ log) était moins élevée que pour les autres familles bactériennes citées plus haut, mais elle est significative ($p = 0,0003$). Elle était probablement due à l'effet inhibiteur du CO₂ et/ou à l'effet de l'anoxie sur certaines souches bactériennes. La situation des bactéries anaérobies était sensiblement la même que celle des bactéries aérobies. Cependant, la différence observée entre les deux types d'emballage est imputable seulement à l'effet inhibiteur du CO₂.

sur certaines souches bactériennes, puisque l'anoxie n'était pas un facteur limitant pour cette famille. Certains auteurs ont soulevé l'hypothèse que l'effet inhibiteur du CO₂ pourrait être imputable à l'acidification qu'il causerait à la surface de la viande (Loewonadler, 1994 ; Daniels et al., 1985 ; Dixon et Kell, 1989). Les résultats de la présente étude sont en désaccord avec cette hypothèse, puisque les diminutions de pH de la viande emballée sous CO₂ ont été faibles comparativement à celles de la viande emballée sous-vide (figure 5).

La figure 4 illustre l'évolution des différentes familles bactériennes durant la conservation de tablette. L'augmentation des populations bactériennes de la viande conservée pour une durée de 35 jours ou plus est devenue significative après deux à trois jours de conservation de tablette et ce pour toutes les familles bactériennes. Ces deux à trois jours représentaient probablement le temps nécessaire pour permettre l'adaptation des différentes populations bactériennes à leur nouvel environnement ; une température de 4°C au lieu de 1°C ainsi qu'un contact avec l'air ambiant et la lumière. L'analyse de l'interaction entre le temps de conservation et le temps de vie tablette a permis de mettre en évidence la compétition entre les familles bactériennes et les effets d'une conservation de longue durée sur cette compétition. La croissance des *Brochothrix thermosphacta*, des entérobactéries et des *Pseudomonas* des groupes témoins était forte. Ces trois familles font partie des flores d'altération et ont été dominantes durant la vie de tablette des groupes témoins. Ces résultats sont en accord avec plusieurs publications antérieures (Blickstad et Molin, 1983 ; Gill et Harrison, 1989 ; Bohnsack et al., 1988 ; Nissen et al., 1996). Le contexte était différent pour les autres temps de conservation (35, 40 et 45 jours). Les bactéries lactiques, aérobies et anaérobies se sont développées durant la conservation et représentaient les flores dominantes (surtout les bactéries lactiques). Leur croissance était pratiquement nulle au cours de la vie de tablette mais leur effet de compétition a tout de même affecté les trois autres familles bactériennes (*Brochothrix thermosphacta*, entérobactéries et *Pseudomonas*). Les *Brochothrix* et les entérobactéries ont subi les effets inhibiteurs des emballages et les effets de compétition mentionnés plus haut. Ces familles bactériennes ont eu une faible croissance durant la vie de tablette des temps de conservation 35, 40 et 45 jours. Les *Pseudomonas* ont été plus affectés

par les effets inhibiteurs des emballages et les effets de compétition ; ils n'affichaient pratiquement aucune croissance durant la vie de tablette des temps de conservation 35, 40 et 45 jours. Ces résultats sont eux aussi en accord avec la littérature (Nissen et al., 1996 ; Taylor, 1972).

Les comptes totaux anaérobies auraient logiquement été plus élevés que ceux des bactéries lactiques, car ces dernières sont incluses dans la flore totale anaérobie. Ce ne fut cependant pas le cas pour les résultats obtenus lors de la présente étude. La moyenne des bactéries anaérobies (log CFU/g) était de 5,01 alors que celle des bactéries lactiques était de 6,01. Certaines souches de *Lactobacillus* présentent une croissance plutôt fastidieuse sur des milieux de culture solide (deMan et al., 1960) et ce même si les conditions semblent optimales pour leur croissance. Le milieu de culture utilisé pour les comptes de bactéries lactiques était le MRS de Difco, un milieu sélectif et optimal pour la croissance des *Lactobacillus* en général. Les plaques de pétris inoculées ont été incubées dans des jarres anaérobies à 25°C pendant 72 heures et les colonies formées étaient plutôt petites. En tenant compte du fait que certaines souches de *Lactobacillus* ont une croissance fastidieuse, il est fort probable qu'un changement de milieu de culture, de température ou de temps d'incubation ait pu affecter la croissance de ces bactéries au point qu'elles n'aient pas été visibles lors des comptes bactériens. Sachant que le temps d'incubation des plaques de BHI était de 48 heures à une température de 35°C, il est fort possible que certaines souches de *Lactobacillus* aient manqué : 1^{er} de temps pour croître, 2^e de certains éléments essentiels à leur croissance, ce qui expliquerait qu'elles n'aient pas été détectées lors des comptes totaux anaérobies.

L'évolution des différentes flores bactériennes observées lors de la présente étude se résume à une forte croissance des bactéries lactiques et à une faible croissance des autres flores bactériennes. Ceci est valable pour les emballages sous-vide et CO₂, même si les flores autres que les bactéries lactiques étaient toutes significativement plus élevées pour l'emballage sous-vide comparativement à celui sous CO₂. La dominance des bactéries lactiques lors de la

conservation sous-vide décrite plus haut correspond au modèle de flore microbienne rapporté par Pierson et al. (1970) et Taylor et al. (1990) pour le bœuf et à celui de Gill et Harrison (1989) pour le porc. Le même rapprochement peut être fait pour la viande conservée sous CO₂ avec les résultats de Rousset et Renerre (1991) pour le bœuf et, Blickstad et Molin (1983) ainsi que Gill et Harrison (1989) pour le porc. Les courbes de croissance illustrées à la figure 2 démontrent que seule la croissance des bactéries lactiques atteint la limite des normes acceptables proposées par l'AFNOR et présentées dans la publication de Lacoste et Chatenet (1996b).

3.2 Physico-chimie

3.2.1 pH, pertes exsudatives et pertes à la cuisson

La baisse de pH observée durant la conservation (figure 5) pourrait bien être attribuable à la croissance des *Lactobacillus*. En effet, ces bactéries produisent de l'acide lactique et leur nombre atteint la limite du seuil acceptable (10⁷/g) proposée par Newton et Gill (1978) ainsi que Lacoste et Chatenet (1996b). Peu d'auteurs ont rapporté une baisse de pH lors de la conservation de la viande, sauf certains ayant utilisé une viande présentant un pH ultime de 6 ou plus (Gill, 1988 ; Rousset et Renerre, 1991). Le nombre élevé de *Lactobacillus* et les quelques valeurs de pH de 5,3 et moins (pour des échantillons sous-vide surtout) appuient la possibilité d'une fermentation de la viande. La croissance des bactéries lactiques peut expliquer la baisse de pH lors de la conservation, mais elle n'explique cependant pas la différence entre la viande emballée sous-vide et celle sous CO₂ (figure 5), car la population de *Lactobacillus* des deux types d'emballage n'était pas significativement différente (p>0,05) (figure 3).

Il est difficile d'expliquer les plus faibles valeurs de pH observées lors de la conservation sous-vide. La perte d'exsudat est reconnue pour être influencée par le pH ; une baisse de ce dernier entraîne des pertes exsudatives plus élevées (Penny, 1969). Cependant, il est possible

qu'une exsudation rapide et hâtive ait contribué à la baisse du pH. L'emballage sous-vide exerce une pression sur la viande, ce qui a pour effet de chasser une certaine quantité d'eau et de protéines solubles à l'extérieur. Ce phénomène a également été observé par Rousset et Renerre (1991) ainsi qu'O'Keefe et Hood (1980-1981). Il est fort probable que la pression du vide ait directement chassé la majeure partie de l'exsudat peu de temps après l'emballage. D'ailleurs, les quantités similaires de pertes exsudatives pour les temps de conservation 35, 40 et 45 jours appuient cette probabilité. Une hypothèse plausible pourrait donc être que l'acide lactique, produit par les réactions physico-chimiques de la viande et/ou par la population de bactéries lactiques, ait été plus concentré pour la viande emballée sous-vide, proportionnellement à la quantité d'exsudat perdu. Si la viande conservée sous-vide contenait moins d'eau et ce dès le début de la conservation, il est logique que sa valeur de pH ait été plus basse (donc plus acide) que celle emballée sous CO₂.

La figure 6 montre l'évolution du pH durant la conservation. Bien que significative, la différence entre ces valeurs (moins de 0,1) ne peut expliquer les variations d'autres paramètres physico-chimiques de la viande. La légère augmentation du pH durant la vie de tablette du groupe témoin était probablement le résultat des phénomènes de protéolyse de la viande tels que rapporté par Penny (1977). Toutefois, la baisse de pH observée durant la vie de tablette des échantillons de viande conservés pendant respectivement 35, 40 et 45 jours ne peut être attribuée ni à la solubilisation du CO₂ dans la viande, ni aux bactéries lactiques qui n'ont démontré aucune croissance durant ces périodes. Cette acidification de la viande observée durant la vie de tablette pourrait être imputable au métabolisme des *Brochothrix thermosphacta*. Ces bactéries peuvent, en présence d'oxygène, produire de l'acide acétique (Hitchener et al., 1979 ; Dainty et Hibbard, 1983). Kakouri et Nychas (1994) ainsi que Ordonez et al. (1991) ont suggéré que l'augmentation d'acide acétique observée dans leurs échantillons de viande conservés dans une atmosphère contenant de l'oxygène pouvait être attribuable au métabolisme aérobie des *Brochothrix thermosphacta*. Bien que leur croissance ait été assez faible durant la vie de tablette, il est possible que l'adaptation à leurs nouvelles

conditions environnementales leur ait permis de produire graduellement plus d'acide acétique et donc de baisser le pH, d'autant plus que les tranches étaient minces.

L'augmentation des pertes exsudatives durant la conservation (figure 7) serait due à la dégradation des membranes cellulaires et la migration de l'eau vers la surface (Offer et Knight, 1988b). L'écart observé entre les deux types de veau s'expliquerait en premier lieu par la teneur en eau plus élevée du veau de lait (tableau 5). Cet écart pourrait aussi être imputable à une différence au niveau de la matrice protéique de la viande. La viande de veau de grain est reconnue pour contenir plus de protéines que le veau de lait (Beauchemin et al., 1990). Cette matrice protéique augmenterait le pouvoir de rétention d'eau de la viande de veau de grain. De plus, l'interaction entre le type de veau et le type d'emballage (figure 7) renforce l'hypothèse du rôle de la matrice protéique, puisque la viande de veau de lait, plus tendre, est beaucoup plus susceptible d'être affectée par la compression subie lors de l'emballage sous-vide que celle du veau de grain. Bien que faible, la différence de pH entre les pièces de viande emballées sous-vide et sous CO₂ pourrait également avoir contribué à l'exsudation plus élevée de la viande conservée sous-vide.

La figure 8 démontre une augmentation des pertes exsudatives durant la vie tablette des échantillons de viande du groupe témoin alors que les pertes en comptoir se stabilisaient après une journée suite à une durée de conservation de 35, 40 et 45 jours. L'eau libre disponible de la viande aurait été presque entièrement perdue lors de la conservation. Cependant, ceci n'explique pas la forte augmentation des pertes exsudatives 24 heures après la mise en comptoir pour les durées de conservation de 35, 40 et 45 jours (figure 8). La taille différente des pièces de viande utilisées pour les analyses de la journée d'ouverture des sachets comparativement à celles mises en comptoir pourrait en être la cause. En effet, les pièces de viande utilisées aux journées d'ouverture avaient trois pouces d'épais et elles étaient prélevées dans la partie la plus large de la longe, car une plus grande quantité de viande était nécessaire pour effectuer tous les tests, alors que les tranches utilisées pour les autres journées tablette avaient un demi pouce d'épais (figure 1). Une surface de viande

coupée par une lame de couteau est plus susceptible de laisser fuir l'eau qu'une surface intègre qui possède encore une partie de son tissu conjonctif externe. Ce fait est encore plus marqué lorsque la coupe est transversale (perpendiculaire aux fibres musculaires) comme l'ont mentionné Offer et Knight (1988b). Les tranches de trois pouces auraient donc été plus aptes à retenir l'eau grâce à leur forme et à leur rapport surface/volume beaucoup moins élevé que celui des tranches de ½ pouce. Des observations similaires ont été rapportées par Zarate et Zaritzky (1985).

Contrairement au phénomène d'exsudation de la viande qui a été plus important pour le veau de lait, le type de veau n'a pas eu d'influence sur les pertes à la cuisson. Il s'agit probablement d'un effet compensatoire apporté par les pertes exsudatives. Selon la composition en eau, il est toutefois possible que le liquide récolté après la cuisson de la viande de veau de lait ait contenu plus de gras (donc moins d'eau). Cette analyse n'a toutefois pas été effectuée. Le type d'emballage et le temps de conservation ont eu par ailleurs une influence sur les pertes à la cuisson. Ces pertes ont été moins élevées pour la viande emballée sous-vide car la pression du vide engendrait un peu plus d'une fois et demie plus de pertes exsudatives que l'emballage sous CO₂ (figure 7). Les quantités d'eau perdues durant la conservation sous-vide expliqueraient aussi l'interaction entre le type d'emballage et le temps de conservation (figure 7).

3.2.2 Fer, oxydation et couleur

De façon générale, les quantités de fer total mesurées lors de la présente étude ($54,65 \pm 9,88$ µg fer/g de matière sèche (MS) pour le veau de grain et $51,31 \pm 12,07$ µg/g de MS pour le veau de lait) sont plus élevées que celles présentées dans la littérature. Les valeurs rapportées par Bowers et al. (1989), Faustman et al. (1992b) ainsi que Pommier et al. (1995) pour le muscle *longissimus dorsi* du veau se situent à près de 26 µg/g de MS pour la viande pâle (white veal) et 40 µg/g de MS pour la viande plus foncée (red veal). Certains auteurs (Faustman et al., 1992a ; Sato et Hegarty, 1971) ont noté que le hachage de la viande avec un

appareil muni d'une lame et d'une plaque de fer pouvait provoquer une hausse du fer total. Selon Faustman et al. (1992a), cette hausse pourrait varier de 1 à 2,5 $\mu\text{g/g}$ de viande (~ 10 $\mu\text{g/g}$ de MS). La lame et la plaque du hachoir utilisé lors de cette étude étaient composées de fer. Toutefois, la faible différence observée entre le fer total du veau de lait et du veau de grain durant la conservation ($\sim 3,2$ $\mu\text{g/g}$ de MS) comparativement à celle dans la littérature (~ 14 $\mu\text{g/g}$ de MS) est probablement attribuable aux pertes d'eau plus importantes mesurées chez le veau de lait, puisqu'il est possible qu'elles aient contenu du fer. Les valeurs de fer non-hémique (4,01 $\mu\text{g/g}$ de viande pour le veau de lait et 4,81 $\mu\text{g/g}$ de viande pour le veau de grain) sont toutefois comparables à celles rapportées par Bowers et al. (1989) pour la viande de veau pâle (3,6 $\mu\text{g/g}$ de viande) et foncée (4,02 $\mu\text{g/g}$ de viande).

La figure 10 illustre l'évolution du fer total, non-hémique et hémique durant la conservation. Le fer total et le fer non-hémique ont tendance à diminuer, particulièrement dans la viande de veau de grain. Cette baisse serait attribuable aux pertes exsudatives, qui peuvent entraîner le fer libre et différentes molécules pouvant contenir du fer (Offer et Knight, 1988b). Toutefois, l'exsudation ne justifie pas la perte plus abondante de fer non-hémique ($\sim 2,2$ $\mu\text{g/g}$ de viande) par rapport à celle du fer total ($\sim 1,1$ $\mu\text{g/g}$ de viande) suite à une conservation de 35 jours de la viande de veau de grain (figure 10). Compte tenu de la plus haute teneur en myoglobine, il est possible qu'une partie des protéines hémiques n'ait pas été complètement protégée par le nitrite selon le protocole de Rhee et Ziprin (1987). En effet, le volume de solution de nitrite ajouté avant l'incorporation de l'acide était seulement de 0,2 ml pour 5 g de viande. Cet effet aurait cependant eu moins d'impact pour la viande conservée pendant plus de 35 jours comme le suggère la baisse du paramètre de couleur a^* illustrée à la figure 14. La dénaturation des protéines hémiques durant la conservation pourrait expliquer ce phénomène.

Les valeurs de fer hémique présentées à la figure 10 ne concordent pas avec celles du paramètre de couleur a^* mentionnées précédemment ni avec celles de la littérature. Compte tenu que les valeurs de fer hémique n'ont pas été mesurées mais bien calculées par la

différence entre le fer total et le fer non-hémique, ces résultats sont attribuables aux valeurs élevées de fer total obtenues.

Plusieurs études ont démontré l'influence du fer sur les phénomènes d'oxydation. Certains auteurs attribuent un effet pro-oxydant plus prononcé pour le fer hémique (Tappel, 1952 ; Watts, 1954 ; Younathan et Watts, 1959) alors que d'autres soutiennent que le fer non-hémique est le plus oxydant (Sato et Hegarty, 1971 ; Love et Pearson, 1974 ; Igene et al., 1979). Il est difficile de relier les résultats de la présente étude concernant le fer avec d'autres paramètres physico-chimiques pour les raisons mentionnées plus tôt. Cependant, mis à part le groupe témoin du veau de grain, les proportions de fer total et non-hémique semblent être assez stables (figure 10). La stabilité des résultats de fer total et non-hémique ne traduit pas les écarts observés sur d'autres paramètres physico-chimiques durant la conservation. Par contre, l'effet d'interaction entre l'oxydation des gras et l'oxydation des pigments a été observé par Hutchins et al. (1967) ainsi que Faustman et al. (1989 ; 1992a). Les résultats de la présente étude sont en accord avec ces observations, puisque la hausse des valeurs TBA (mg de malonaldéhyde/kg de viande) présentée à la figure 11 est accompagnée d'une diminution de l'indice de couleur a^* durant la conservation (figure 14). Le taux de pigment supérieur de la viande de veau de grain expliquerait les valeurs TBA plus élevées pour ce type de viande (1,27 mg/kg) comparativement à 0,98 mg/kg pour la viande de veau de lait. Ces résultats correspondent avec ceux de Faustman et al. (1992a) qui ont comparé le taux d'oxydation de deux viandes de veau de couleurs différentes. De plus, la viande de veau utilisée lors de cette étude était très maigre (moins de 1% de gras) et l'impact que l'oxydation des gras a pu avoir sur la quantité de malonaldéhyde est probablement moins important que l'effet des pigments. La teneur plus élevée en gras du veau de lait et sa quantité inférieure en malonaldéhyde comparativement à la viande de veau de grain appuient cette hypothèse.

Livingston et Brown (1981) ont rapporté qu'un pH acide favorise les réactions d'oxydation, ce qui pourrait expliquer le taux d'oxydation plus élevé pour la viande emballée sous-vide (figure 11). Cependant, ces résultats vont à l'encontre de ceux observés par Taylor et al.

(1990) pour la viande de bœuf et de porc conservée sous-vide et sous CO₂. Le pH n'a toutefois pas été mesuré lors de l'étude de Taylor (1990). Selon nos résultats, le CO₂ n'accélère pas le processus d'oxydation comme l'ont mentionné certains auteurs (Bohnsack et al., 1988).

L'augmentation des valeurs TBA entre 0 et 35 jours de conservation indique clairement que la viande s'est oxydée durant la conservation. Cependant, les valeurs obtenues pour 40 et 45 jours de conservation sont plus basses que celles à 35 jours (figure 11). Compte tenu que la viande utilisée pour la présente étude était très faible en gras, il est possible que l'oxydation des gras ait été complète après environ 35 jours de conservation et qu'il y ait eu par la suite une perte de malonaldéhyde par dégradation ou évaporation. Smith (1987) a observé que l'oxydation des lipides de la viande de dinde congelée durant de longues périodes diminuaient après 7 semaines de conservation. Le test du TBA consiste à mesurer le taux de malonaldéhyde et d'autres substances réactives qui sont produites majoritairement au début du processus d'oxydation des lipides. Plusieurs produits secondaires de l'oxydation des lipides surviennent tardivement et ne sont pas mesurés par le TBA, ce qui pourrait expliquer le ralentissement des phénomènes d'oxydations et indiquerait par le fait même que le test de TBA est possiblement moins précis pour mesurer l'évolution de l'oxydation des lipides d'échantillons de viande conservés sur de longues périodes (Smith, 1987).

Ces observations pourraient expliquer les résultats présentés à la figure 11. La période où les valeurs TBA se stabilisent correspond à celle observée par Smith (1987). Les deux semaines de différence entre les résultats de la présente étude et ceux de Smith (1987) seraient attribuables à la température de conservation plus élevée lors du présent projet (1°C comparativement à -20°C), car une température plus élevée favorise les phénomènes d'oxydations (Labuza, 1971). Selon Turner et al. (1954) et Tarlagdis et al. (1960) (qui ont utilisé la méthode par distillation) ainsi que Lanari et al. (1995) (qui ont utilisé la méthode par filtration), le malonaldéhyde peut être relié aux odeurs rances de la viande de porc fraîche quand sa concentration atteint environ 0,5 mg/kg. Par contre, Melton (1985) a remarqué que

des odeurs pouvaient être détectées entre des valeurs TBA de 0,3 et 1 mg/kg pour la viande de porc, 1 et 2 mg/kg pour le poulet et plus de 3 mg/kg pour la dinde. Cependant, Raharjo et Sofos (1993) ont rapporté que ces valeurs ne peuvent être considérées comme une référence générale d'évaluation des odeurs rances, car plusieurs facteurs tels l'espèce, l'âge et la diète de l'animal, l'état de la viande (crue ou cuite) et les méthodes d'analyses peuvent influencer les valeurs TBA. Cependant, Shamberger et al. (1977) ont observé une valeur TBA moyenne de 13,9 mg/kg par la méthode de distillation pour de la viande fraîche de veau qui ne présentait aucune odeur rance et, Siu et Draper (1978) ont rapporté des valeurs TBA oscillant entre 0,76 et 4,92 pour des pièces fraîches de surlonge de veau ayant été analysées par la méthode de filtration. Les valeurs obtenues lors de la présente étude (~1 mg/kg) pourraient donc, selon les valeurs seuil présentées plus haut pour d'autres types de viande, être des valeurs limites et auraient pu affecter l'odeur et la flaveur de la viande. Par contre, la comparaison avec les valeurs publiées pour de la viande de veau fraîche suggère que les résultats obtenus lors de la présente étude seraient acceptables.

L'analyse de la couleur était basée sur le système Hunter $L^*a^*b^*$. Le paramètre de couleur L^* de l'échelle de Hunter est un indice de la capacité de la surface de la viande à réfléchir la lumière. Les valeurs L^* de la viande de veau de lait étaient plus élevées (~55,29) que celles de la viande de veau de grain (~48,85). Cette différence correspond aux résultats obtenus par Gariépy et al. (1998) et s'explique par une couleur intrinsèque moins riche en pigment pour la viande de veau de lait, car les pigments absorbent la lumière et assombrissent la couleur. Les valeurs L^* ont significativement augmenté durant la conservation (figure 12). Gariépy et al. (1998) ont aussi observé cette augmentation. Elle pourrait être attribuable aux phénomènes de la protéolyse, qui ont pour effet de faire migrer l'eau vers la surface. Toutefois, l'amplitude de cette hausse (~1) est faible et a probablement eu peu d'effet sur l'apparence visuelle. Le paramètre de couleur b^* est l'indice du jaune. Une augmentation de ce paramètre a pour conséquence de diluer l'effet du paramètre de couleur a^* , donc d'éclaircir ou de pâlir la couleur de la viande. L'influence du paramètre de couleur b^* serait plus importante pour une viande plus rouge comme celle du veau de grain (Gariépy et al., 1998).

L'analyse de variance a révélé des interactions significatives entre les quatre traitements (veau, emballage, temps de conservation et vie de tablette) concernant ce paramètre, mais la faible amplitude de ces variations aurait également eu peu d'effet sur la couleur de la viande.

Le paramètre de couleur a^* est un indice de la proportion de la couleur rouge présente dans la viande. Cette coloration provient principalement de la myoglobine et de l'hémoglobine résiduelle. Le veau de grain a une diète riche en fer, ce qui lui permet une production plus importante de myoglobine et donc une couleur plus rouge que le veau de lait (Beauchemin et al., 1990). Une diminution du paramètre a^* durant la conservation est attribuée aux phénomènes d'oxydation des pigments, qui par une désoxygénation partielle de l'oxymyoglobine en myoglobine réduisent la stabilité de la molécule et engendrent la metmyoglobine (Ledward, 1970 ; O'Keefe et Hood, 1982 ; Giddings, 1977). Les valeurs TBA obtenues lors de la présente étude appuient cette hypothèse et celle voulant que le taux d'oxydation et la couleur soient étroitement liés (Hutchins et al., 1967). Bien qu'elle n'ait pas été mesurée, la perte de myoglobine dans l'exsudat aurait également pu contribuer à la baisse du paramètre a^* et à la décoloration de surface durant la conservation. La perte plus prononcée de la coloration rouge engendrée par l'emballage sous-vide comparativement au CO_2 serait en accord avec les résultats de Rousset et Renerre (1991) pour le bœuf ainsi que Sorheim et al. (1996) pour le porc et pourrait être attribuable à l'environnement plus oxydant (pH plus acide) et aux pertes exsudatives plus élevées de la viande emballée sous-vide.

Les effets reliés à la conservation mentionnés plus haut ont aussi un effet sur la durée de vie de tablette. La stabilité des valeurs de a^* du groupe témoin diminue considérablement après 35 jours ou plus de conservation (figure 14). La baisse plus importante du a^* durant la vie tablette comparativement à celle observée durant la conservation suggère un effet plus important de l'oxydation des pigments suite à la réoxygénation de la viande, comme l'ont observé Bell et al. (1996) pour la viande de bœuf. Le pH présente aussi une baisse assez importante durant la vie de tablette (figure 6), ce qui renforce l'hypothèse voulant qu'un pH acide joue un rôle important au niveau du paramètre de couleur a^* , principalement en

favorisant l'oxydation des pigments par une accélération de la protonation des ponts hydrogène, favorisant ainsi la libération d'anions superoxydes, de potentiels agents prooxydants (Faustman et Cassens, 1990 ; Renerre et Labas, 1987 ; Livingston et Brown, 1981). Les phénomènes mentionnés ci haut ont affecté davantage les valeurs a^* de la viande de veau de grain par rapport à celle de veau de lait. Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature voulant qu'une viande rouge, comme celle du bœuf, soit plus susceptible à la décoloration durant la conservation et la vie tablette (Ledward, 1985 ; Jeremiah et al., 1992) qu'une viande pâle comme celle du porc (Silliker et al., 1977).

Les trois paramètres de couleur (L^* , a^* et b^*) ont augmenté d'une façon plus importante au tout début de la vie de tablette (figure 12, 14 et 15). Ces résultats seraient attribuables à un « bloom » incomplet, car les mesures de couleur ont été prises 30 minutes après la remise à l'air de la viande. Bell et al. (1996) ont observé le même phénomène pour la viande de bœuf conservée 39 jours sous CO_2 où la couleur a atteint son maximum après 24 heures et s'est par la suite détériorée.

Les figures 16 et 17 illustrent les effets des différents traitements sur la teinte et la saturation. L'augmentation plus importante de la teinte durant la conservation pour la viande emballée sous-vide comparativement au CO_2 et pour celle du veau de grain comparativement au veau de lait confirment la décoloration plus importante engendrée par ces facteurs, comme mentionné précédemment (figure 18 et 19). La stabilité de la teinte et de la saturation des groupes témoin démontrent le maintien d'une couleur attrayante pour le consommateur durant la vie tablette. Cependant, l'augmentation de la teinte conjointement à la baisse de la saturation durant la vie de tablette de la viande conservée pendant plus de 35 jours indiquent une décoloration dépendant principalement d'une baisse du paramètre a^* . Une forte baisse de ce paramètre peut engendrer un verdissement de la viande. Sharpe (1962) a observé que le verdissement de la saucisse emballée sous-vide était causé par des souches de *Lactobacillus* et de *Leuconostoc*. Lee et al. (1983) ont observé un verdissement de la viande de veau conservée sous-vide et sous N_2 100% après 28 jours de conservation à 3°C et après 49 jours à

0°C, et l'ont attribué eux aussi à la forte population ($\sim 10^7/\text{g}$) des bactéries lactiques. Plusieurs auteurs ont rapporté une production de H_2S (composé responsable du verdissement de la viande par sa liaison avec la myoglobine) par des souches de bactéries lactiques présentes sur la viande (Lee et al., 1983 ; Borch et Agerhem, 1992 ; Dainty et Mackey, 1992 ; Egan et al., 1989). Les populations de bactéries lactiques de la présente étude ont atteint $10^7/\text{g}$ et auraient donc pu contribuer au verdissement de la viande. Delaquis et al. (1993) n'ont noté aucun verdissement causé par des populations de bactéries lactiques atteignant un \log_{10} de 6,3/g.

Plusieurs auteurs ont rapporté l'effet très néfaste que peut avoir la présence d'une faible quantité d'oxygène résiduel dans l'emballage lors de la conservation de longue durée (Ledward, 1985 ; Jeremiah et al., 1992 ; Gill et McGinnis, 1995). Une quantité aussi faible que 0,1% peut décolorer la surface de la viande durant la conservation ou au moment de la vente au comptoir en favorisant la formation de la metmyoglobine (Seideman et al., 1980). L'efficacité de la technologie CAPTECH repose sur l'imperméabilité à l'oxygène de ses matériaux d'emballage et sur le vide performant généré par la pompe de l'appareil. Il fut cependant assez difficile lors de la présente étude d'atteindre les 50 ppm d' O_2 requis pour garantir l'efficacité de la conservation de la viande. Bien que la plupart des essais préalables à l'emballage aient atteint ce niveau, un certain nombre de mesures étaient toutefois plus élevées que 50 ppm. La quantité d'oxygène de tous les emballages sous CO_2 a été vérifiée immédiatement avant leur ouverture et aucun ne contenait de traces d' O_2 . Cependant, il est possible que certains d'entre eux en aient contenu une quantité plus élevée que 50 ppm au moment de l'emballage. Cette dernière aurait oxydé la myoglobine et altéré l'activité réductrice de la metmyoglobine, une réaction physico-chimique essentielle à la stabilité de la couleur qui reconvertit la metmyoglobine en myoglobine par un processus de réduction (Ledward, 1972 ; O'Keefe et Hood, 1982 ; Renerre et Labas, 1987). Cette réaction impliquerait le NADH comme coenzyme (Giddings, 1977).

Bien qu'aucune analyse sensorielle n'ait été effectuée, un changement notable de la couleur de la viande conservée 35 jours ou plus a été observé durant la phase expérimentale et ce dès

deux à trois jours de vie de tablette. Dans certain cas, le verdissement est survenu après 3-4 jours de vie de tablette, plus particulièrement pour la viande de veau de grain. Bell et al. (1996) ont noté que la qualité visuelle de la viande de bœuf conservée sous CO₂ pour des périodes de conservation de 39 à 89 jours devenait inacceptable après 4 jours de vie tablette. La différence entre les valeurs a* de la viande considérée de bonne qualité et celle de faible qualité était de l'ordre de 7 à 10. Chan et al. (1996) ont observé une relation similaire lors d'une étude sur l'évaluation de la qualité visuelle de la viande de bœuf. Ils ont remarqué qu'une baisse du paramètre a* d'environ 5 par rapport à la valeur initiale représentait le seuil de détection d'un changement de couleur et qu'une baisse de 10 engendrait une couleur inacceptable. Ces valeurs semblent applicables pour la comparaison de nos résultats (figure 14) puisqu'elles suggèrent un changement notable de la couleur de la viande conservée 35 jours ou plus après 2 jours de vie tablette et une couleur inacceptable après 3 jours, tel qu'observé durant la phase expérimentale.

3.2.3 Tendreté

La tendreté de la viande est affectée par deux traitements seulement. La viande de veau de lait est significativement plus tendre que celle du veau de grain, et ces résultats concordent avec la littérature (Wood et Froehlich, 1981 ; Gariépy et al., 1998). Cette différence est probablement due à la teneur moins élevée en protéines du veau de lait, car certaines d'entre elles comme le collagène, offrent une résistance lors du cisaillement de la viande (Davey et Gilbert, 1974). Le durcissement observé pour la viande emballée sous-vide par rapport à celle sous CO₂ pourrait s'expliquer par l'inactivation exercée par le pH acide sur la protéase C.A.F. (Calcium Activated Factor) impliquée dans l'attendrissement de la viande (Cheng et Parrish, 1977 ; Penny, 1980) et les pertes exsudatives plus élevées (Harris et Shorthose, 1988) de la viande emballée sous-vide. Selon une publication de Rosset et al. (1984), un jury peut détecter une différence de tendreté lorsque les forces de cisaillements varient de 0,5 kg ou plus. La différence de tendreté entre les deux types de veau (1,09) et celle entre la viande emballée sous-vide et sous CO₂ (0,62) pourraient donc être détectées par le consommateur.

CONCLUSIONS

Les objectifs de ce projet étaient d'évaluer la qualité microbiologique de la viande de veau lors de la conservation de longue durée sous-vide et sous CO₂. Des analyses physico-chimiques ont également été effectuées afin de suivre l'évolution des différents paramètres physico-chimiques pouvant affecter d'une façon directe ou indirecte les qualités organoleptiques de la viande durant la conservation ou la vie de tablette et finalement, de mettre en évidence les différences physico-chimiques entre le veau de lait et le veau de grain.

L'évolution de la croissance des différentes familles bactériennes analysées lors de la présente étude concorde avec plusieurs résultats rapportés pour d'autres types de viande conservée sous CO₂ durant de longues périodes. La croissance des bactéries aérobies et anaérobies a été ralentie durant la conservation et ces bactéries se sont maintenues à des niveaux acceptables, qui se comparent à plusieurs études et qui répondent aux normes. Les *Brochothrix thermosphacta*, les entérobactéries et les *Pseudomonas* ont été affectés par l'effet inhibiteur du CO₂. Leur nombre a diminué durant la conservation et s'est maintenu à un niveau acceptable durant la vie de tablette, comme l'ont démontré d'autres études. Les bactéries lactiques ont été la flore dominante durant la conservation sous CO₂. Elles ont cependant atteint un nombre de 10⁷/g après 35 jours de conservation. Ce nombre correspond à la valeur maximum acceptable proposée par plusieurs auteurs. Bien qu'elles soient reconnues pour leur faible potentiel d'altération, certaines souches de bactéries lactiques peuvent produire des substances indésirables pouvant affecter sérieusement l'apparence de la viande.

La comparaison de la composition en eau, en gras et en protéines des deux types de veau correspond aux valeurs retrouvées en littérature. Le veau de grain contient plus de protéines alors que le veau de lait contient plus d'eau et plus de gras. Le pH de la viande emballée sous CO₂ a légèrement diminué durant la conservation, mais l'amplitude de cette baisse était assez

faible et probablement sans conséquence. Par contre, la baisse de pH observée pour la viande emballée sous-vide, de même que celle observée durant la vie de tablette, aurait pu influencer d'autres paramètres physico-chimiques. L'analyse statistique n'a révélé aucune différence de pH entre les deux types de veau. Les pertes exsudatives de la viande conservée sous CO₂ correspondent au processus normal de maturation de la viande. Elles ont été plus importantes pour le veau de lait comparativement au veau de grain. Cependant, les pertes à la cuisson n'ont pas été différentes entre les deux types de veau et elles ont été constantes durant la conservation.

Les quantités de fer non-hémique étaient assez stables durant la conservation, ce qui indique que la diminution du fer total est imputable surtout à la perte de pigment. De plus, il semble que la quantité de fer total plus élevée pour le veau de grain soit imputable à sa teneur en myoglobine plus élevée, car les quantités de fer non-hémique sont sensiblement les mêmes pour les deux types de veau. Cette relation est aussi valable pour l'explication des phénomènes d'oxydation plus élevés chez le veau de grain. Tout indique que le phénomène d'oxydation principal n'est pas l'oxydation des gras mais bien l'oxydation des pigments. Toutefois, les valeurs quantifiant l'oxydation (valeurs TBA) de la viande conservée sous CO₂ lors de la présente étude correspondent aux valeurs retrouvées en littérature pour de la viande fraîche de veau. La décoloration observée pour les deux types de viande après 35 jours ou plus de conservation sous CO₂ est imputable à l'oxydation de la myoglobine, qui s'est traduit par une baisse du paramètre de couleur a*. La faible amplitude des variations des paramètres L* et b* a probablement eu peu d'effet sur l'apparence visuelle. Cette dernière était acceptable lors de l'ouverture des sachets. À la deuxième journée de vie de tablette cependant, une décoloration pouvant parfois aller jusqu'au verdissement devenait limitante et ce, de façon plus évidente pour la viande de veau de grain. La conservation sous CO₂ n'a eu aucun effet d'attendrissement ou de durcissement de la viande. Les valeurs de la présente étude sont en accord avec la littérature puisqu'elles démontrent une tendreté supérieure pour la viande de veau de lait.

Selon les conditions d'abattage et de refroidissement en vigueur lors de cette étude, la conservation sous CO₂ de la viande de veau sur une période de 35 jours ou plus à 1°C représenterait la limite théorique maximale. D'un point de vue pratique, la croissance résultante des populations de bactéries lactiques avoisine le seuil de 10⁷/g et la décoloration dès la deuxième journée de vie de tablette représentent des facteurs limitants. Toutefois, beaucoup d'auteurs attribuent une importance cruciale aux effets que peuvent avoir la quantité d'oxygène résiduel de l'emballage et la température de conservation sur le développement bactérien et la stabilité de la couleur. En tenant compte des faits suivants : 1^{er} plusieurs études ont démontré qu'une baisse de température de quelques degrés seulement pouvait ralentir considérablement la croissance bactérienne et les réactions d'oxydation ; 2^e la couleur était acceptable à l'ouverture des sachets et après une journée de conservation de tablette ; 3^e la machine utilisée lors de cette étude était probablement moins performante que les modèles utilisés en usine ; 4^e le système de conservation CAPTECH[®] est utilisé avec succès pour des types de viande dont la couleur et la texture sont comparables à celles de la viande de veau, l'adoption de technologies de refroidissement plus performantes lors de l'entreposage pourrait sans doute améliorer la qualité de la viande conservée sous CO₂. Les investissements requis pour l'acquisition d'une technologie tel le système CAPTECH[®] ne sauraient toutefois enrayer la fissuration de la viande engendrée par le CO₂. Sur cette base, l'amélioration des caractéristiques microbiologiques et physico-chimiques des viandes par des interventions technologiques plus en amont dans la chaîne de transformation seront probablement les plus susceptibles d'assurer, de façon indépendante ou par synergie, la prolongation de la durée de conservation de la viande de veau.

BIBLIOGRAPHIE

ADDIS, P.B. 1986. Occurrence of lipid oxidation products in foods. Food Chem. Toxicol. 24 : 1021-1030.

AGBOOLA, H.A., V.R. CAHILL, H.R. CONRAD, H.W. OCKERMAN, C.F. PARKER, N.A. PARRETT et A.R. LONG. 1990. The effect of individual and combined feeding of high monosodium phosphate and alpha tocopherol supplemented milk replacer diets and an alternate protein diet on muscle color, composition and cholesterol content of veal. J. Anim. Sci. 68 : 117-127.

AHMAD, H.A. et J.A. MARCHELLO. 1989. Effect of gas atmosphere packaging on psychrotrophic growth and succession on steak surfaces. J. Food Sci. 54 : 274-276, 310.

ANJANEYULU, A.S.R. et H.D. SMITH. 1986. Effect of modified atmospheres on the shelf- life of pork chops. J. Food Sci. Technol. 23 : 88-90.

ANONYME. 1996. Micro-organismes contaminant de la viande de porc : significations et méthodes d'analyses. Institut Technique du Porc. Paris. France.

ANSARI, G.A.S., R.D. WALKER, V.B. SMART et L.L. SMITH. 1982. Further investigations of mutagenic cholesterol preparations. Food Chem. Toxicol. 20 : 35-41.

BARTKOWSKI, L., F.D. DRYDEN et J.A. MARCHELLO. 1982. Quality changes of beef steaks stored in controlled gas atmosphere containing high or low levels of oxygen. J. Food Prot. 45 : 41-45.

BEAUCHEMIN, K.A., B. LACHANCE et G. ST-LAURENT. 1990. Effect of concentrate diets on performance and carcass characteristics of veal calves. J. Anim. Sci. 68 : 35-44.

BEEBE, S.D., C. VANDERZANT, M.O. HANNA, Z.L. CARPENTER et G.C. SMITH. 1976. Effect of initial internal temperature and storage temperature on the microbial flora of vacuum packaged beef. J. Milk Food Technol. 39 : 600-605.

BELL, R.G., N. PENNEY et S.M. MOORHEAD. 1996. The display life of steaks prepared from chilled stored vacuum and carbon dioxide-packed sub-primal beef cuts. *Meat Sci.* 42 : 165-178.

BENEDICT, R.C., E.D. STRANGE et C.E. SWIFT. 1975. Effect of lipid antioxidants on the stability of meat during storage. *J. Agric. Food Chem.* 23 : 167-173.

BLICKSTAD, E. et G. MOLIN. 1983. Carbon dioxide as a controller of the spoilage flora of pork, with special reference to temperature and sodium chloride. *J. Food Prot.* 46 : 756-763, 766.

BLICKSTAD, E., S.-O. ENFORS et G. MOLIN. 1981. Effect of hyperbaric CO₂ pressure on the microbial flora of pork stored at 4 or 14°C. *J. Appl. Bacteriol.* 50 : 493-504.

BOHNSACK, U., G. KNIPPEL et U.H. HÖPKE. 1988. The influence of a CO₂ atmosphere on the shelf life of the fresh poultry. *Fleischwirt.* 68 : 1553-1557.

BORCH, E. et H. AGERHEM. 1992. Chemical, microbial and sensory changes during the anaerobic cold storage of beef inoculated with a homofermentative *Lactobacillus* sp. or a *Leuconostoc* sp. *Int. J. Food Microbiol.* 15 : 99-108.

BOUTON, P.E. et P.V. HARRIS. 1972a. The effects of cooking temperature and time on some mechanical properties of meat. *J. Food Sci.* 37 : 140-144.

BOUTON, P.E. et P.V. HARRIS. 1972b. A comparison of some objective methods used to assess meat tenderness. *J. Food Sci.* 37 : 218-221.

BOUTON, P.E., P.V. HARRIS et D. RATCLIFF. 1981. Effect of cooking temperature and time on the shear properties of meat. *J. Food Sci.* 46 : 1082-1087.

BOUTON, P.E., P.V. HARRIS et W.R. SHORTHORSE. 1975. Changes in shear parameters of meat associated with structural changes produced by ageing, cooking and myofibrillar contraction. *J. Food Sci.* 40 : 1122-1126.

BOUTON, P.E., P.V. HARRIS et W.R. SHORTHOSE. 1976. Dimensional changes in meat during cooking. J. Text. Studies. 7 : 179-192.

BOWERS, J.A., J. GRAIG et J.C. WILLIAMS. 1989. Sensory characteristics, texture, color, and selected nutrient content of veal muscle. J. Food Sci. 54 : 1444-1449.

BREMNER, I., J.M. BROCKWAY, H.Y. DONNELLY et A.J.F. WEBSTER. 1976. Anaemia and veal calf production. Vet. Rec. 99 : 203-205.

BREMNER, I. et A.C. DALGARNO. 1973. Iron metabolism in the veal calf. 2. Iron requirements and the effect of copper supplementation. Br. J. Nutr. 30 : 61-76.

BRUCE, H.L., A. ARGANOSA, A. SZPACENKO, Z. HAWYRSH, M.A. PRICE et F.H. WOLFE. 1992. Chemical and physical changes during storage of Cap-Tech® beef. Pp. 14-21 dans Proceeding of the Canadian Meat Science Association, 7th Symposium. Extend Storage Life of Chilled Meats. Banff, Canada.

BRUCE, H.L., F.H. WOLFE, S.D.M. JONES et M.A. PRICE. 1996. Porosity in cooked beef from controlled atmosphere packaging is caused by rapid CO₂ gas evolution. Food Res. Int. 29 : 189-193.

BUTS, B., M. CASTEELS, E. CLAEYS et D. DEMEYER. 1986. Effects of electrical stimulation, followed by moderate cooling, on meat quality characteristics of veal longissimus dorsi. Meat Sci. 18 : 271-279.

CARPENTER, Z.L., S.D. BEEBE, G.C. SMITH, K.E. HOKE et C. VANDERZANT. 1976. Quality characteristics of vacuum packaged beef as affected by postmortem chill, storage temperature and storage interval. J. Milk Food Technol. 39 : 592-599.

CHAN, W.K.M., K. HAKKARAINEN, C. FAUSTMAN, D.M. SCHAEFER, K.K. SCHELLER et Q. LIU. 1996. Dietary vitamin E effect on color stability and sensory assesment of spoilage in three beef muscle. Meat Sci. 42 : 387-399.

CHENG, C.S. et Jr F. PARRISH. 1977. Effect of Ca^{2+} on changes in myofibrillar proteins of bovine skeletal muscle. J. Food Sci. 42 : 1621-1628.

CHRISTOPHER, F.M., S.C. SEIDEMAN, Z.L. CARPENTER, G.C. SMITH et C. VANDERZANT. 1979. Microbiology of beef packaged in various gas atmosphere. J. Food Prot. 42 : 240-244.

CHURCH, N. 1994. Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies. Trends Food Sci. Technol. 5 : 345-353.

CHURCH, I.J. et A.L. PARSONS. 1995. Modified atmosphere packaging technology : a review. J. Sci. Food Agric. 67 : 143-152.

CLARK, D.S. et C.P. LENTZ. 1969. The effect of carbon dioxide on the growth of slime producing bacteria on fresh beef. Can. Inst. Food Technol. J. 2 : 72-75.

COLLINS, M.D., J.A.E. FARROW, B.A. PHILLIPS, S. FERUSO et D. JONES. 1987. Classification of *Lactobacillus divergens*, *Lactobacillus piscicola*, and some catalase-negative, asporogenous, rod-shaped bacteria from poultry in a new genus, *Carnobacterium*. Int. J. Syst. Bacteriol. 37 : 310-316.

COX, N.A., A.J. MERCURI, B.J. JUVEN et J.E. THOMSON. 1975. Enterobacteriaceae at various stages of poultry chilling. J. Food Sci. 40 : 44-46.

DAINTY, R.H. et C.M. HIBBARD. 1983. Precursors of the major end products of aerobic metabolism of *Brochothrix thermosphacta*. J Appl. Bacteriol. 55 : 387-396.

DAINTY, R.H. et B.M. MACKEY. 1992. The relationship between the phenotypic properties of bacteria from chill-stored meat and spoilage processes. J. Appl. Bacteriol. 73 : 103S-114S.

DANIELS, J.A., R. KRISHNAMURTHI et S.S.H. RIZVI. 1985. A review of effects of carbon dioxide on microbial growth and food quality. J. Food Prot. 48 : 532-537.

DAUN, H., M. SOLBERG, W. FARNKE et S. GILBERT. 1971. Effect of oxygen-enriched atmospheres on storage quality of packaged fresh meat. J. Food Sci. 36 : 1011-1014.

DAVEY, C.L. et K.V. GILBERT. 1974. Temperature-dependent cooking toughness in beef. J. Sci. Food Agric. 25 : 931-939.

DELAQUIS, P.J., C. GARIÉPY, G. DOYON, H. LAPIERRE, S.A. POMMIER et A.M.B. De PASSILLÉ. 1993. Influence of package integrity on the microbiology of portion ready veal packed under modified atmospheres. Proceedings of the 39th International Congress of Meat Science and Technology. Calgary. August 1st-6th. 58A05.WP.

de MAN, J.C., M. ROGOSA et M.E. SHARPE. 1960. A medium for the cultivation of lactobacilli. J. Appl. Bacteriol. 23 : 130-135.

de MAN, J.M. 1990. Principles of food chemistry. Second edition. Editeur : J.M. de Man. Van Nostrand Reinhold. New York. 469 p.

DEMERS, L., B. EITNER, S. FOURNAISE, C. GARIÉPY, P. GIBAUT, R. LEDOUX, R. MARTIN, S. PELLETIER et J. RICHARD. 1996. Plan stratégique de développement. Filière du veau lourd au Québec. St-Hyacinthe. Québec. Canada. 56 p.

den HERTOOG-MEISCHKE, M.J.A., M. VADA-KOVÁCS et F.J.M. SMULDERS. 1997. The effect of simulated transport of fresh meats on their water holding capacity as assessed by various methods. Meat Sci. 46 : 1-8.

DIXON, N.M. et D.B. KELL. 1989. The inhibition by CO₂ of the growth and metabolism of microorganisms. J. Appl. Bacteriol. 67 : 109-136.

DIXON, N.M., R.W. LOVITT, J.G. MORRIS et D.B. KELL. 1988. Growth energetics of *Clostridium sporogenes* NCIB 8053 : modulation by CO₂. J. Appl. Bact. 65 : 119-133.

DOHERTY, A., J.J. SHERIDAN, P. ALLEN, D.A. McDOWELL, I.S. BLAIR et D. HARRINGTON. 1995. Growth of *Yersinia enterocolitica* O:3 on modified atmosphere packaged lamb. Food Microbiol. 12 : 251-257.

DRAUDT, H.N., S.M. MACHLIK et C.D. RIMSTIDT. 1964. Effect of cooking time and temperature on tenderness and papain action in beef. Pp. 115 dans Proc. 16th Res. Conf. Am. Meat Inst. Found. Chicago.

DRAUDT, H.N. 1972. Changes in meat during cooking. Pp. 243 dans Proc. 25th Ann. Recip. Meat Conf. Nat. Livestock Meat Board. Chicago.

EDSAL, J.T. et J. WYMAN. 1958. Biophysical Chemistry, Academic Press, New York. 550 p.

EGAN, A.F., B.J. SHAY et P.J. ROGERS. 1989. Factors affecting the production of hydrogen sulphide by *Lactobacillus sake* L13 growing on vacuum-packaged beef. J. Appl. Bacteriol. 67 : 255-262.

EIKELENBOOM, G. et F.J.M. SMULDERS. 1986. Effect of electrical stimulation on veal quality. Meat Sci. 16 : 103-112.

EMPEY, W.A., W.J. SCOTT et J.R. VICKERY. 1934. The export of chilled beef : the preparation of the « Idomeneus » shipment at the Brisbane abattoir. J. Counc. Sci. Ind. Res. 7 : 73-77.

ENFORS, S.-O. et G. MOLIN. 1978. The influence of high concentrations of carbon dioxide on the germination of bacterial spores. J. Appl. Bact. 47 : 279-285.

ENFORS, S.-O. et G. MOLIN. 1984. Carbon dioxide evolution of refrigerated meat. Meat Sci. 10 : 197-206.

ENFORS, S.-O., G. MOLIN et A. TERNSTROM. 1979. Effect of packaging under carbon dioxide/nitrogen and air on the microbial flora of pork stored at 4°C. J. Food Bacteriol. 47 : 197-208.

ERICHSEN, I. et G. MOLIN. 1981. Microbial flora of normal and high pH beef stored at 4°C in different gas environments. J. Food Prot. 44 : 866-869.

FARBER, J.M. 1991. Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology - a review. J. Food Prot. 54 : 58-70.

FAUSTMAN, C. et R.G. CASSENS. 1990. The biochemical basis for discoloration in fresh meat : a review. J. Mus. Food. 1 : 217-243.

FAUSTMAN, C., R.G. CASSENS, D.M. SCHAEFER, D.R. BUEGE, S.N. WILLIAMS et K.K. SCHELLER. 1989. Improvement of pigment and lipid stability in Holstein steer beef by dietary supplementation on vitamin E. J. Food Sci. 54 : 858-867.

FAUSTMAN, C., S.M. SPECHT, L.A. MALKUS et D.M. KINSMAN. 1992a. Pigment oxidation in ground veal : influence of lipid oxidation, iron and zinc. Meat Sci. 31 : 351-362.

FAUSTMAN, C., M.C. YIN et D.B. NADEAU. 1992b. Color stability, lipid stability, and nutrient composition of red and white veal. J. Food Sci. 57 : 302-304, 311.

FOX, J.B. 1966. The chemistry of meat pigments. Agric. Food Chem. 14 : 207-210.

FRANKS, N.P. et W.R. LIEB. 1986. Partitioning of long-chain alcohols into lipid bilayers : implications for mechanisms of general anesthesia. Proc. Natl. Acad. Sci. 83 : 5116-5120.

GARDNER, G.A. 1966. A selective medium for the enumeration of *Microbacterium thermosphactum* in meat and meat products. J. Appl. Bacteriol. 29 : 455-460.

GARDNER, G.A., A.W. CARSON et J. PATTON. 1967. Bacteriology of prepackaged pork with reference to the gas composition within the pack. J. Appl. Bacteriol. 30 : 321-333.

GARDNER, H.W. 1979. Lipid hydroperoxide reactivity with proteins and amino acids : a review. J. Agric. Food Chem. 27 : 220-229.

GARIÉPY, C., J. AMIOT et M. RAYMOND. 1990. Courte durée de maturation et qualité de la viande de bouvillons stimulée et non-stimulée électriquement. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 23 : 183-188.

GARIÉPY, C., P.J. DELAQUIS, S. POMMIER, A.M.B. De PASSILLÉ, J. FORTIN et H. LAPIERRE. 1998. Effect of calf feeding regimes and diet EDTA on physico-chemical characteristics of veal stored under modified atmospheres. *Meat Sci.* 49 : 101-115.

GIBBS, P.A., J.T. PATTERSON et D.B. HARPER. 1979. Some characteristics of the spoilage of sterile beef by pure cultures of bacteria. *J. Sci. Food Agric.* 30 : 1109-1110.

GIDDINGS, G.G. 1977. The basis of color in muscle foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nut.* 9 : 81-114.

GILL, C.O. 1983. Meat spoilage and evaluation of the potential storage life of fresh meat. *J. Food Prot.* 46 : 444-452.

GILL, C.O. 1986. The control of microbiol spoilage in fresh meats. *Adv. Meat Res.* 2 : 49-88.

GILL, C.O. 1988. The solubility of carbon dioxide in meat. *Meat Sci.* 22 : 65-71.

GILL, C.O. 1989. Packaging for prolonged chill storage : the Captech process. *Br. Food J.* 91 : 11-15.

GILL, C.O. 1990. Controlled atmosphere packaging of chilled meat. *Food Control.* 1 : 74-79.

GILL, C.O. 1992. Application of preservative packagings to chilled raw meats. Pp. 1-8 dans *Proceeding of the Canadian Meat Science Association, 7th Symposium. Extend Storage Life of Chilled Meats.* Banff, Canada.

GILL, C.O., B. DESLANDES, K. RAHN, A. HOUDE et J. BRYANT. 1998. Evaluation of the hygienic performances of the processes for beef carcass dressing at 10 packing plants. *J. Appl. Microbiol.* 84 : 1050-1058.

GILL, C.O. et C.L. HARRISON. 1989. The storage life chilled pork packaged under carbon dioxide. *Meat Sci.* 24 : 313-324.

GILL, C.O., J.C.L. HARRISON et N. PENNEY. 1990. The storage life of chicken carcasses packaged under CO₂. *Int. J. Food Microbiol.* 11 : 151-158.

GILL, C.O. et S.D.M. JONES. 1992. Efficiency of a commercial process for the storage and distribution of vacuum-packaged beef. *J. Food Prot.* 55 : 880-887.

GILL, C.O., J.C. MCGINNIS. 1995. The effects of residual oxygen concentration and temperature on the degradation of the colour of beef packaged under oxygen-depleted atmospheres. *Meat Sci.* 39 : 387-394.

GILL, C.O., J.C. MCGINNIS et M. BADONI. 1996. Assessment of the hygienic characteristics of a beef carcass dressing process. *J. Food Prot.* 59 : 136-140.

GILL, C.O. et K.G. NEWTON. 1977. The development of aerobic spoilage flora on meat stored at chill temperatures. *J. Appl. Bacteriol.* 43 : 189-195.

GILL, C.O. et K.G. NEWTON. 1980. Growth of bacteria on meat at room temperatures. *J. Appl. Bacteriol.* 49 : 315-323.

GILL, C.O. et N. PENNEY. 1988. The effect of the initial volume to meat weight ratio on the storage life of chilled beef packaged under carbon dioxide. *Meat Sci.* 22 : 53-63.

GILL, C.O. et N. PENNEY. 1990. The effect of storing raw meat under CO₂ on the visible texture of the cooked muscle tissue. Pp. 232-240 dans *Proceedings of the 36th Int. Congress of Meat Sci. and Technol.* Vol. 1. Int. Congress of Meat Sci. and Technol.

GILL, C.O. et M.P. REICHEL. 1989. Growth of the cold tolerant pathogens *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas hydrophila* and *Listeria monocytogenes* on high-pH beef packaged under vacuum or carbon dioxide. *Food Microbiol.* 6 : 223-230.

GILL, C.O. et K.H. TAN. 1980. Effect of carbon dioxide on growth of meat spoilage bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 39 : 317-319.

GOMEZ-BASAURI, J.V. et J.M. REGENSTEIN. 1992. Vacuum packaging, ascorbic acid and frozen storage effects on heme and nonheme iron content of mackerel. *J. Food Sci.* 57 : 1337-1339.

GOVINDARAJAN, S., H.O. HULTIN et A.W. KOTULA. 1977. Myoglobin oxidation in ground beef : mechanistic studies. *J. Food Sci.* 42 : 571-577.

GRANT, I. et M.F. PATTERSON. 1991. Effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the microbiological and sensory quality of pork stored at refrigeration temperature. *Int. J. Food Sci. Technol.* 26 : 507-519.

GRAU, F.H. 1983. Microbial growth on fat and lean surfaces of vacuum-packaged chilled beef. *J. Food Sci.* 48 : 326-328, 336.

GREENE, B.E. 1969. Lipid oxidation and pigment changes in raw beef. *J. Food Sci.* 34 : 110-113.

GREER, G.G., B.D. DILTS et L.E. JEREMIAH. 1993. Bacteriology and retail case life of pork after storage in carbon dioxide. *J. Food Prot.* 56 : 689-693.

GUIGNOT, F., Y. QUILICHINI, M. RENERRE, A. LACOURT et G. MONIN. 1992. Relationship between muscle type and some traits influencing veal color. *J. Sci. Food Agric.* 58 : 523-529.

GUILLÉN-SANS, R. 1986. Caracterización y estudio de ácidos arilidentioabrutúricos formados por reacción entre el ácido 2-tiobarbitúrico (ATB) y aldehídos aromáticos, Ph. D. thesis. University of Sevilla. Spain.

GUILLÉN-SANS, R. et M. GUZMÁN-CHOZAS. 1998. The thiobarbituric acid (TBA) reaction in foods : a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 38 : 315-330.

HAMM, R. 1960. Biochemistry of meat hydration. Adv. In Food Res. 10 : 355-462.

HARRIS, P.V. et W.R. SHORTHOSE. 1988. Meat texture. Pp. 245-296 dans Developments in Meat Science-4. Éditeur : R.A. Lawrie. Elsevier Applied Science, London. 361 p.

HASTINGS, J.W. et M.E. STILES. 1991. Antibiosis of *Leuconostoc gelidum* isolated from meat. J. Appl. Bacteriol. 70 : 127-134.

HENKEL, W. et R.W. GLANVILLE. 1982. Covalent crosslinking between molecules of type I and type III collagen. The involvement of the N-terminal, nonhelical regions of the $\alpha 1(I)$ and $\alpha 1(III)$ chains in the formation of intermolecular crosslinks. Eur. J. Biochem. 122 : 205-213.

HESS, E., W. RUOSCH et C. BREER. 1980. Extending the shelf-life of prepacked fresh meat. Fleischwirt. 60 : 1513-1517.

HINTLIAN, C.B. et J.H. HOTCHKISS. 1986. The safety of modified atmosphere packaging : a review. Food Technol. 40 : 70-76.

HINTLIAN, C.B. et J.H. HOTCHKISS. 1987. Comparative growth of spoilage and pathogenic organisms on modified atmosphere-packaged cooked beef. J. Food Prot. 50 : 218-223.

HITCHENER, B.J., A.F. EGAN et P.J. ROGERS. 1979. Energetics of *Microbacterium thermosphactum* in glucose-limited continuous culture. Appl. Environ. Microbiol. 37 : 1047-1052.

HITCHENER, B.J., A.F. EGAN et P.J. ROGERS. 1982. Characteristics of lactic acid bacteria isolated from vacuum-packaged beef. J. Appl. Bacteriol. 52 : 31-37.

HOLLEY, R.A., P. DELAQUIS, N. RODRIGUE, G. DOYON, J. GAGNON et C. GARIÉPY. 1994a. Controlled-atmosphere storage of pork under carbon dioxide. J. Food Prot. 57 : 1088-1093.

HOLLEY, R.A., C. GARIÉPY, P. DELAQUIS, G. DOYON et J. GAGNON. 1994b. Static, controlled (CO₂) atmosphere packaging of retail ready pork. *J. Food Sci.* 59 : 1296-1301.

HONIKEL, K.O., C.J. KIM et R. HAMM. 1986. Sarcomere shortening of prerigor muscles and its influence on drip loss. *Meat Sci.* 16 : 267-282.

HOOD, D.E. et E.B. RIORDAN. 1973. Discolouration in pre-packaged beef : measurement by reflectance spectrophotometry and shopper discrimination. *J. Food Technol.* 8 : 333-343.

HOTCHKISS, J.H. 1988. Experimental approaches to determining the safety of food packaged in modified atmospheres. *Food Technol.* 42 : 55, 60-62, 64.

HUBBARD, R.W., Y. ONO et A. SANCHEZ. 1989. Atherogenic effect of oxidized products of cholesterol. *Prog. Food Nutr. Sci.* 13 : 17-44.

HUFFMAN, D.L. 1974. Effects of gas atmosphere in microbial quality of pork. *J. Food Sci.* 39 : 723-725.

HUTCHINS, B.K., T.H.P. LIU et B.M. WATTS. 1967. Effect of additives and refrigeration on reducing activity, metmyoglobin, and malonaldehyde of raw ground beef. *J. Food Sci.* 32 : 214-223.

IGENE, J.O., J.A. KING, A.M. PEARSON et J.I. GRAY. 1979. Influence of heme pigments, nitrite, and non-heme iron on development of warmed-over flavor (WOF) in cooked meat. *J. Agric. Food Chem.* 27 : 838-841.

INGRAM, M. et R.H. DAINITY. 1971. Changes caused by microbes in spoilage of meats. *J. Appl. Bacteriol.* 34 : 21-39.

INNS, R. 1987. Modified atmosphere packaging. Pp. 36-51 dans *Modern Processing, Packaging and distribution Systems for Food*. Editeurs : Paine F.A. Balckie, London, UK. 163 p.

JACKSON, T.C., G.R. ACUFF, C. VANDERZANT, T.R. SHARP et J.W. SAVELL. 1992. Identification and evaluation of volatils compounds of vacuum and modified atmosphere packaged beef strip loins. *Meat Sci.* 31 : 175-190.

JACOBSON, M.S., M.G. PRICE, A.E. SHAMOO et F.P. HEALD. 1985. Atherogenesis in white carneau pigeons. Effects of low-level cholestan triol feeding. *Atherosclerosis.* 57 : 209-217.

JEREMIAH, L.E., N. PENNEY et C.O. GILL. 1992. The effect of prolonged storage under vacuum or CO₂ on the flavor and texture profiles of chilled pork. *Food Res. Int.* 25 : 9-19.

JONES, R.P. et P.F. GREENFIELD. 1982. Effect of carbon dioxide on yeast growth and fermentation. *Enz. Microb. Technol.* 4 : 210-223.

KAKOURI, A. et G.J.E. NYCHAS. 1994. Storage of poultry meat under modified atmospheres or vacuum packs : possible role of microbial metabolites as indicator of spoilage. *J. Appl. Bacteriol.* 76 : 163-172.

KANDUTSCH, A.N.A. et H.W. CHEN. 1978. Inhibition of cholesterol synthesis by oxygenated sterols. *Lipids.* 13 : 704-711.

KHAN, M.A., I.A. NEWTON, A. SEAMAN et M. WOODBINE. 1975. The survival of *Listeria monocytogenes* inside and outside its host. Pp. 75-83 dans *Problems of Listeriosis*. Éditeur : M. Woodbine. Leicester University Press, Leicester , UK.

KING, N.L. 1979. Tensile strength of heat-coagulated myosin fibres. *Meat Sci.* 3 : 75-81.

KING, A.D. et C.W. NAGEL. 1975. Influence of carbon dioxide upon the metabolism of *Pseudomonas aeruginosa*. *J. Food Sci.* 40 : 362-366.

KLAENHAMMER, T.R. 1988. Bacteriocins of lactic acid bacteria. *Biochimie.* 70 : 337-349.

KRALA, L. et S. MICHALOWSKI. 1993. Effect of CO₂ enriched atmosphere on the conversion of haem pigments, malonaldehyde content and growth of *Lactobacillus* in chicken tissue. Pp. 467-470 dans Bioavailability '93 - Nutritional, Chemical and Food Processing Implications of Nutrient Availability. Inst. Chem. Food Technol. Łódz. Poland.

LAAKONEN, E., G.H. WELLINGTON et J.W. SHERBON. 1970. Low-temperature, long-time heating of bovine muscle. 1. Changes in tenderness, water-binding capacity, pH and amount of water-soluble components. J. Food Sci. 35 : 175-177.

LABUZA, T.P. 1971. Kinetics of lipid oxidation in foods. CRC Crit. Rev. Food Technol. 2 : 355-359.

LACOSTE, A. et D. CHATENET. 1996a. Conservation longue durée de la viande de porc. 1^{ère} partie : synthèse bibliographique. Techni-Porc. 19 : 31-36.

LACOSTE, A. et D. CHATENET. 1996b. Conservation longue durée de la viande de porc. 2^{ème} partie : volet expérimental. Techni-Porc. 19 : 19-34.

LAMBERT, A.D., J.P. SMITH et K.L. DODDS. 1991. Effect of headspace CO₂ concentration on toxin production by *Clostridium botulinum* in MAP, irradiated fresh pork. J. Food Proc. 54 : 588-592.

LANARI, M.C., D.M. SCHAEFER et K.K. SCHELLER. 1995. Dietary vitamin E supplementation and discoloration of pork bone and muscle following modified atmosphere packaging. Meat Sci. 41 : 337-350.

LEDOUX, R., A. FORNASIER et G. LAQUERRE. 1998. Portrait de l'industrie du veau lourd québécois. Pp. 73-82 dans Colloque sur le veau lourd. La qualité à tous les niveaux. Éditeurs : Gosselin, E. et D. Jacques. Conseil des productions animales du Québec inc. Québec, Canada, 108 p.

LEDWARD, D.A. 1970. Metmyoglobin formation in beef stored in carbon dioxide enriched and oxygen depleted atmospheres. J. Food Sci. 35 : 33-37.

LEDWARD, D.A. 1972. Metmyoglobin reduction and formation in beef during aerobic storage at 1°C. J. Food Sci. 37 : 634-638.

LEDWARD, D.A. 1985. Post-slaughter influences on the formation of metmyoglobin in beef muscles. Meat Sci. 15 : 149-171.

LEE, B.H., R.E. SIMARD, L.C. LALEYE et R.A. HOLLEY. 1983. Microflore, sensory and exsudate changes of vacuum or nitrogen-packed veal chunks under different storage conditions. J. Food Sci. 48 : 1537-1542, 1563.

LEE, B.H., R.E. SIMARD, L.C. LALEYE et R.A. HOLLEY. 1985. Effects of temperature and storage duration on the microflora, physicochemical and sensory changes of vacuum- or nitrogen-packed pork. Meat Sci. 13 : 99-112.

LEGRAND, I. 1994. Conditionnement et conservation des viandes et abats. Viandes et Produits Carnés. 15 : 57-63.

LIVINGSTON, D.J. et W.D. BROWN. 1981. The chemistry of myoglobin and its reactions. Food Technol. 35 : 244-255.

LOCKER, R.H. 1960. Degree of muscular contraction as a factor in tenderness of beef. Food Res. 25 : 304-312.

LOCKER, R.H. et J. HAGYARD. 1963. A cold shortening effect in beef muscles. J. Sci. Food Agric. 14 : 787-792.

LOEWENADLER, J. 1994. Modified atmosphere packaging. Carbon dioxide, its interaction with microorganisms and applications as a food preservative. A review. SIK-Rapport. 603 : 55 p.

LOVE, J.D. et A.M. PEARSON. 1974. Metmyoglobine and nonheme iron as prooxidants in cooked meat. J. Agric. Food Chem. 22 : 1032-1034.

MacDOUGALL, D.B. 1977. Colour in meat. Pp. 56-69 dans Sensory Properties of Foods. Éditeurs : G.G. Birch, J.G. Brennan et K.J. Parker. Appl. Sci. Publ. Ltd. London.

MacDOUGALL, D.B. 1982. Changes in the colour and opacity of meat. Food Chem. 9 : 75-88.

MacDOUGALL, D.B., I. BREMNER et A.C. DALGARNO. 1973. Effect of dietary iron on the colour and pigment concentration of veal. J. Sci. Food Agric. 24 : 1255-1263.

MACHLIK, S.M. et H.N. DRAUDT. 1963. The effect of heating time and temperature on the shear of beef semitendinosus muscle. J. Food Sci. 28 : 711-720.

MARSH, B.B. et N.G. LEET. 1966. Studies in meat tenderness. 3. The effects of cold shortening in tenderness. J. Food Sci. 31 : 450-461.

MARSHALL, D.L., P.L. WIESE-LEHIGH, J.H. WELLS et A.J. FARR. 1991. Comparative growth of *Listeria monocytogenes* and *Pseudomonas fluorescence* on precooked chicken nuggets stored under modified atmospheres. J. Food Prot. 54 : 841-843, 851.

MATSUSHITA, S. 1975. Specific interactions of linoleic acid hydroperoxides and their secondary degraded products with enzyme proteins. J. Agric. Food Chem. 23 : 150-154.

MATTHIAS, D., C.H. BECKER, V. GÖDICKE, R. SCHMIDT et K. PONSOLD. 1987. Action of cholestan 3 β , 5 α , 6 β triol on rats with particular reference to the aorta. Atherosclerosis. 63 : 115-124.

McKEITH, F.K., J.W. SAVELL, C.V. MURPHEY et G.C. SMITH. 1982. Enhancement of lean characteristics of veal carcasses by electrical stimulation. Meat Sci. 6 : 65-69.

McMEEKIN, T.A. 1975. Spoilage association of chicken breast muscle. Appl. Microbiol. 29 : 44-47.

McMEEKIN, T.A. 1977. Spoilage association of chicken leg muscle. *Appl. Environ. Microbiol.* 33 : 1244-1246.

McMILLIN, K.W. 1993. Dynamic gas exchange of modified atmosphere packaging for fresh meat. *Pack Alimentaire '93 - Session C-1. Conference Proceeding.* Chicago.

McMULLEN, L.M. et M.E. STILES. 1989. Storage life of selected meat sandwiches at 4°C in modified gas atmospheres. *J. Food Prot.* 52 : 792-798.

McMULLEN, L.M. et M.E. STILES. 1991. Changes in microbial parameters and gas composition during modified atmosphere storage of fresh loin pork chops. *J. Food Prot.* 54 : 776-783.

McMULLEN, L.M. et M.E. STILES. 1993. Microbial ecology of fresh pork stored under modified atmosphere at -1, 4.4 and 10°C. *Int. J. Food Microbiol.* 18 : 1-14.

MELTON, S.L. 1985. Methodology for following lipid oxidation in muscle foods. *Food Technol.* 37 : 105-111, 116.

MILTENBURG, G.A.J., T. WENSING, F.J.M. SMULDERS et H.J. BREUKINK. 1992. Relationship between blood hemoglobin, plasma and tissue iron, muscle heme pigment, and carcass color of veal. *J. Anim. Sci.* 70 : 2766-2772.

MITZ, M.A. 1979. CO₂ Biodynamics : a new concept of cellular control. *J. Theor. Biol.* 80 : 537-551.

MOLIN, G. 1983. The resistance to carbon dioxide of some food related bacteria. *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 18 : 214-217.

MOLLER, A.J. 1980-1981. Analysis of Warner-Bratzler shear pattern with regard to myofibrillar and connective tissue components of tenderness. *Meat Sci.* 5 : 247-260.

MONIN, G. 1993. pH et qualités sensorielles de la viande de veau. *Viandes Prod. Carnés.* 14 : 43-47.

NEWTON, K.G. et C.O. GILL. 1978. The development of the anaerobic spoilage flora of meat stored at chill temperatures. *J. Appl. Bacteriol.* 44 : 91-95.

NICKI, J., J. ENGESETH, I. GRAY, A.M. BOOREN et A. ASGHAR. 1993. Improved oxidative stability of veal lipids and cholesterol through dietary vitamin E supplementation. *Meat Sci.* 35 : 1-15.

NISSEN, H., O. SORHEIM et R. DAINITY. 1996. Effect of vacuum, modified atmospheres and storage temperature on the microbial flora of packaged beef. *Food Microbiol.* 13 : 183-191.

OFFER, G. et P. KNIGHT. 1988a. The structural basis of water-holding in meat. 1. General principles and water uptake in meat processing. Pp. 63-171 dans *Developments in Meat Science-4*. Éditeur : R.A. Lawrie. Elsevier Applied Science, London. 361 p.

OFFER, G. et P. KNIGHT. 1988b. The structural basis of water-holding in meat. 2. Drip losses. Pp. 173-244 dans *Developments in Meat Science-4*. Éditeur : R.A. Lawrie. Elsevier Applied Science, London. 361 p.

O'KEEFE, M. et D.E. HOOD. 1980-1981. Anoxic storage of fresh beef. 2. Color stability and weight loss. *Meat Sci.* 5 : 267-281.

O'KEEFE, M. et D.E. HOOD. 1982. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation in beef from muscles of differing color stability. *Meat Sci.* 7 : 209-228.

OORAIKUL, B. et M.E. STILES. 1991. Modified atmosphere packaging of meat, poultry and their products. Dans *Modified Atmosphere Packaging of Food*. Éditeur : Ellis Horwood. England.

ORDONEZ, J.A., B. de PABLO, B.P. de CASTRO, M.A. ASENSIO et B. SANZ. 1991. Selected chemical and microbiological changes in refrigerated pork stored in carbon dioxide and oxygen enriched atmospheres. *J. Agric. Food Chem.* 39 : 668-672.

ORDONEZ, J.A. et D.A. LEDWARD. 1977. Lipid and myoglobin oxidation in pork stored in oxygen- and carbon dioxide-enriched atmospheres. *Meat Sci.* 1 : 41-48.

OUALI, A., J. LEPETIT, C. TOURAILLE et J. KOPP. 1994. Cinétique d'attendrissage de la viande de veau. *Viandes et Produits Carnés.* 15 : 83-86.

PARTMANN, W. 1980. Problems with regard to prolonging the shelf-life of fresh meat in controlled atmospheres. *Schlachten und Vermarkten.* 10 : 305-309.

PATTERSON, J.T. et P.A. GIBBS. 1978. Some microbiological considerations applying to the conditioning, ageing and vacuum packaging of lamb. *J. Food Technol.* 13 : 1-13.

PEARSON, A.M., J.I. GRAY, A.M. WOLZAK et N.A. HORENSTEIN. 1983. Safety implications of oxidized lipids in muscle foods. *Food Technol.* 37 : 121-129.

PENG, S.-K., P. THAM, C.B. TAYLOR et B. MIKKELSON. 1979. Cytotoxicity of oxidation derivatives of cholesterol on cultured aortic smooth muscle cells and their effect on cholesterol biosynthesis. *Am. J. Clin. Nutr.* 32 : 1033-1042.

PENNEY, N. et R.G. BELL. 1993. Effect of residual oxygen on the color, odor and taste of carbon dioxide-packaged beef, lamb and pork during short term storage at chilled temperatures. *Meat Sci.* 33 : 245-252.

PENNY, I.F. 1969. Protein denaturation and water-holding capacity in pork muscle. *J. Food Technol.* 4 : 269-273.

PENNY, I.F. 1977. The effect of temperature on the drip, denaturation and extracellular space of pork longissimus dorsi muscle. *J. Sci. Food Agric.* 28 : 329-338.

PENNY, I.F. 1980. The enzymology of conditioning. Pp. 115-143 dans Developments in Meat Science. Éditeur : R.A. Lawrie. Elsevier Applied Science, London. 361 p.

PHEBUS, R.K., F.A. DRAUGHON et J.R. MOUNT. 1991. Survival of *Campylobacter jejuni* in modified atmosphere packaged turkey roll. J. Food Prot. 54 : 194-199.

PIERSON, M.D., D.L. COLLINS-THOMPSON et Z.J. ORDAL. 1970. Microbiological, sensory and pigments changes of aerobically and anaerobically packaged beef. Food Technol. 24 : 129-133.

POMMIER, S.A., H. LAPIERRE, A.M. DE PASSILLÉ et C. GARIÉPY. 1995. Control of the bioavailability of iron in heavy veal production by different feeding management systems : use of Ca-EDTA as an iron chelating agent. Can. J. of Anim. Sci. 75 : 37-44.

PURSLOW, P.P. 1985. The physical basis of meat texture : observations on the fracture behaviour of cooked muscle semitendinosus. Meat Sci. 12 : 39-60.

RAHARJO, S. et J.N. SOFOS. 1993. Methodology for measuring malonaldehyde as a product of lipid peroxidation in muscle tissues : a review. Meat Sci. 35 : 145-169.

RENERRE, M. 1987. Influence du mode de conditionnement sur la couleur de la viande. Viandes et Produits Carnés. 8 : 47-50.

RENERRE, M. et R. LABAS. 1987. Biochemicals factors influencing metmyoglobin formation in beef muscles. Meat Sci. 19 : 151-167.

RHEE, K.S. et Y.A. ZIPRIN. 1987. Modification of the Schricker nonheme iron method to minimize pigment effects for red meats. J. Food Sci. 52 : 1174-1176.

ROBACH, D.L. et R.N. COSTILOW. 1961. Role of bacteria in the oxidation of myoglobin. Appl. Microbiol. 9 : 529-533.

ROSSET, M.R., R. LAMELOISE et N. ROUSSEL-CIQUARD. 1984. La tendreté de la viande. Actualités scientifiques et techniques en industries agro-alimentaire. No. 033. 234 p.

ROUSSET, S. et M. RENERRE. 1991. Effect of CO₂ or vacuum packaging on normal and high pH meat shelf-life. Int. J. Food Sci. Technol. 26 : 641-652.

ROWE, M.T. 1988. Effect of carbon dioxide on growth and extracellular enzyme production by *Pseudomonas fluorescens* B52. Int. J. Food Microb. 6 : 51-56.

SANDER, E.H. et H.M. SOO. 1978. Increasing shelf life by carbon dioxide treatment and low temperature storage of bulk pack fresh chickens packaged in nylon/surlyn film. J. Food Sci. 43 : 1519-1523, 1527.

SATO, I. et G.R. HEGARTY. 1971. Warmed over flavour in cooked meat. J. Food Sci. 36 : 1098-1102.

SCHILLINGER, U. et F.-K. LÜCKE. 1987. Identification of lactobacilli from meat and meat products. Food Microbiol. 4 : 199-208.

SCHILLINGER, U. et F.-K. LÜCKE. 1989. Antibacterial activity of *Lactobacillus sake* isolated from meat. Appl. Environ. Microbiol. 55 : 1901-1906.

SCHMIDT, J.G., E.A. KLINE et F.C.Jr. PARRISH. 1970. Effect of carcass maturity and internal temperature on bovine longissimus attributes. J. Anim. Sci. 31 : 861-865.

SCHRICKER, B.R., D.D. MILLER et J.R. STOUFFER. 1982. Measurement and content of nonheme and total iron in muscle. J. Food Sci. 47 : 740-743.

SEARS, D.F. et R.M. EISENBERG. 1961. A model representing a physiological role of CO₂ at the cell membrane. J. Gen. Phys. 44 : 869-887.

SEBRANEK, J.G. 1986. « Meat is dynamic » : Factors in controlled atmosphere packs. Nat. Provis. 194 : 10-16.

SEIDEMAN, S.C., Z.L. CARPENTER, G.C. SMITH, C.W. DILL et C. VANDERZANT. 1979a. Physical and sensory characteristics of beef packaged in modified gas atmospheres. J. Food Prot. 42 : 233-239.

SEIDEMAN, S.C., G.C. SMITH, Z.L. CARPENTER, T.R. DUTSON et C.W. DILL. 1979b. Modified gas atmospheres and changes in beef during storage. J. Food Sci. 44 : 1036-1040.

SEIDEMAN, S.C., C. VANDERZANT, G.C. SMITH, C.W. DILL et Z.L. CARPENTER. 1980. Appearance of beef, pork and lamb stored in vacuum or modified gas atmospheres. J. Food Prot. 43 : 252-258.

SEIDEMAN, S.C. et P.R. DURLAND. 1984. The utilization of modified gas atmosphere packaging for fresh meat : A review. J. Food Qual. 6 : 239-252.

SEMAN, D.L., K.R. DREW, P.A. CLARKEN et R.P. LITTLEJOHN. 1988. Influence of packaging method and length of storage times on microflora, tenderness, and color stability of venison loins. Meat Sci. 22 : 267-282.

SEMAN, D.L., K.R. DREW et R.P. LITTLEJOHN. 1989. Packaging venison for extended chilled storage : comparison of vacuum and modified atmosphere packaging containing 100% carbon dioxide. J. Food Prot. 52 : 886-893.

SEVANIAN, A. et A.R. PETERSON. 1986. The cytotoxic and mutagenic properties of cholesterol oxidation products. Food Chem. Toxicol. 24 : 1103-1110.

SHAMBERGER, R.J., T.L. ANDREONE et C.E. WILLIS. 1974. Antioxidants and cancer. IV. Malonaldehyde has initiating activity as a carcinogen. J. Nat. Cancer Inst. 53 : 1771-1773.

SHAMBERGER, R.J., B.A. SHAMBERGER et C.E. WILLIS. 1977. Malonaldehyde content of food. J. Nutr. 107 : 1404-1409.

SHARPE, M.E. 1962. Lactobacilli in meat products. *Food Manuf.* 37 : 582-584.

SHAW, B.G. et C.D. HARDING. 1984. A numerical taxonomic study of lactic acid bacteria from vacuum-packed beef, pork, lamb and bacon. *J. Appl. Bacteriol.* 56 : 25-40.

SHAW, B.G., C.D. HARDING et A.A. TAYLOR. 1980. The microbiology and storage stability of vacuum packed lamb. *J. Food Technol.* 15 : 397-405.

SHERIDAN, J.J., A.M. DOHERTY, P. ALLEN, D.A. McDOWELL, I.S. BLAIR et D. HARRINGTON. 1997. The effect of vacuum and modified atmosphere packaging on the shelf-life of lamb primals, stored at different temperatures. *Meat Sci.* 45 : 107-117.

SILLIKER, J.G., R.E. WOODRUFF, J.R. LUGG, S.K. WOLFE et W.D. BROWN. 1977. Preservation of refrigerated meats with controlled atmospheres : treatment and posttreatment effects of carbon dioxide on pork and beef. *Meat Sci.* 1 : 195-204.

SILLIKER, J.H. et S.K. WOLFE. 1980. Microbiological safety considerations in controlled atmosphere storage of meats. *Food Technol.* 34 : 59-63.

SIMARD, R.E., B.H. LEE, C.L. LALEYE et R.A. HOLLEY. 1985. Effects of temperature and storage time on the microflora, sensory and exsudate changes of vacuum- or nitrogen-packed beef. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 18 : 126-132.

SIU, G.M. et H.H. DRAPER. 1978. A survey of the malonaldehyde content of retail meats and fish. *J. Food Sci.* 43 : 1147-1149.

SMITH, D.M. 1987. Functional and biochemical changes in deboned turkey due to frozen storage and lipid oxidation. *J. Food Sci.* 52 : 22-27.

SMULDERS, F.J.M. et G. EIKELENBOOM. 1985. Electrical stimulation of carcasses. Development of new, fully automated equipment. *Fleischwirt.* 65 : 1356-1359, 1391-1394.

SMULDERS, F.J.M., G. EIKELENBOOM, E. LAMBOOY et J.G. VAN LOGTESTIJN. 1989. Electrical stimulation during exsanguination : effect on the prevalence of blood splash and on sensory quality characteristics in veal. Meat Sci. 26 : 89-99.

SORHEIM, O., D.H. KROPF, M.C. HUNT, M.T. KARWOSKI et K.E. WARREN. 1996. Effects of modified gas atmosphere packaging on pork loin colour, display life and drip loss. Meat Sci. 43 : 203-212.

SPAHL, A., G. REINECCIUS et S. TATINI. 1981. Storage life of pork chops in CO₂-containing atmospheres. J. Food Prot. 44 : 670-673.

STILES, M.E. 1994. Potential for biological control of agents of foodborne disease. Food Res. Int. 27 : 245-250.

STRINGER, W.C., M.E. BILSKIE et H.D. NAUMANN. 1969. Microbial profile of fresh beef. Food Technol. 23 : 97-102.

SUTHERLAND, J.P., J.T. PATERSON, P.A. GIBBS et J.G. MURRAY. 1977. The effect of several gaseous environments on the multiplication of organisms isolated from vacuum packaged beef. J. Food Technol. 12 : 249-255.

SUTHERLAND, J.P., J.T. PATERSON et J.G. MURRAY. 1975. Changes in the microbiology of vacuum packaged beef. J. Appl. Bacteriol. 39 : 227-237.

TAN, K.H. et C.O. GILL. 1982. Physiological basis of CO₂ inhibition of a meat spoilage bacterium, *Pseudomonas fluorescens*. Meat Sci. 7 : 9-17.

TAPPEL, A.L. 1952. Linoleate oxidation catalysed by hog muscle and adipose tissue extract. Food Res. 17 : 550-559.

TARLAGDIS, B.G., B.M. WATTS, M.T. YOUNOTHAN et L.Jr DUGAN. 1960. A distillation method for determining the quantitative determination of malondialdehyde in rancid meats. J. Am. Oil Chem. Soc. 37 : 44-48.

TARRANT, P.V. et C. MOTHERSILL. 1977. Glycolysis and associated changes in beef carcasses. *J. Sci. Food Agric.* 28 : 739-749.

TAYLOR, A.A. 1972. Gases in fresh meat packaging. *Meat World.* 5 : 3-6.

TAYLOR, A.A., N.F. DOWN et B.G. SHAW. 1990. A comparison of modified atmosphere and vacuum skin packing for the storage of red meats. *Int. J. Food Sci. Technol.* 25 : 98-109.

TAYLOR, A.A. et D.B. MACDOUGALL. 1973. Fresh beef packed in mixture of oxygen and carbon dioxide. *J. Food Technol.* 8 : 453-461.

TAYLOR, C.B., S.-K. PENG, N.T. WERTHESSEN, P. THAM et K.T. LEE. 1979. Spontaneously occurring angiotoxic derivatives of cholesterol. *Am. J. Clin. Nutr.* 32 : 40-57.

TURNER, E.W., W.D. PAYNTER, E.J. MONTIE, M.W. BESSERT, G.M. STRUCK et F.C. OLSON. 1954. Use of the 2-thiobarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork. *Food Technol.* 8 : 326-333.

VANDERZANT, C., J.W. SAVELL, M.O. HANNA et V. POTLURI. 1986. A comparison of growth of individual meat bacteria on the lean and fatty tissue of beef, pork and lamb. *J. Food Sci.* 51 : 5-8, 11.

WARBURTON, D.J. et C.O. GILL. 1989. A new chilled atmosphere packaging system for extending the shelf life of red and white meat. *Pack Alimentaire '89 - Session A-4, Conference Proceedings, Chicago.*

WARRIS, P.D. et S.N. BROWN. 1987. The relationship between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. *Meat Sci.* 20 : 65-74.

WATTS, B.M. 1954. Oxidative rancidity and discoloration in meat. *Adv. Food Res.* 5 : 1-14.

WENSING, T.A., I. ABDELRAHIM et A.J.H. SCHOTMAN. 1986. Some aspects of extra iron supply in veal calf fattening. Vet. Res. Commun. 10 : 283-296.

WIMPFHIMER, L., N.S. ALTMAN et J.H. HOTCHKISS. 1990. Growth of *Listeria monocytogenes* Scott A, serotype 4 and competitive spoilage organism in raw chicken packaged under modified atmospheres and in air. Int. J. Food Microbiol. 11 : 205-214.

WITTE, V.C., G.F. KRAUSE et M.E. BAILEY. 1970. A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. J. Food Sci. 35 : 582-591.

WOOD, D.F. et D.A. FROELICH. 1981. Sensory evaluation of grain-fed versus milk-fed veal. Proceedings of the European Meeting of Meat Research Workers. 27 : 531-553.

WOLFE, S.K. 1980. Use of CO and CO₂ enriched atmospheres for meats, fish and produce. Food Technol. 34 : 55-58.

YOUNATHAN, M.T. et B.M. WATTS. 1959. Relationship of meat pigments to lipid oxidation. Food Res. 24 : 728-734.

YOUNG, L. 1989. That old MAP magic. Can. Pack. 42 : 41-42.

YOUNG, L.L., R.D. REVIERE et A.B. COLE. 1988. Fresh red meats : a place to apply modified atmosphere. Food Technol. 42 : 65-69.

ZARATE, J.R. et N.E. ZARITZKY. 1985. Production of weep in packaged refrigerated beef. J. Food Sci. 50 : 155-159, 191.

ZEITOUN, A.A.M. et J.M. DEBEVERE. 1990. The effect of treatment with buffered lactic acid on microbial decontamination and of shelf life of poultry. Int. J. Food Microbiol. 11 : 305-312.

ZHAO, Y., J.H. WELLS et K.W. McMILLIN. 1994. Applications of dynamic modified atmosphere packaging systems for fresh red meats : review. J. Mus. Foods. 5 : 299-328.

ZHAO, Y., J.H. WELLS et K.W. McMILLIN. 1995. Dynamic changes of headspace gases in CO₂ and N₂ packaged beef. J. Food Sci. 60 : 571-575, 591.